

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

⑯ DE 42 28 528 A 1

⑯ Int. Cl. 5:

B 23 P 17/00

B 21 D 5/00

B 23 K 26/08

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

29.08.91 JP 244601/91 26.12.91 JP 357729/91

⑯ Anmelder:

Okuma Corp., Nagoya, Aichi, JP

⑯ Vertreter:

Klunker, H., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmitt-Nilson, G.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Hirsch, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 8000 München

⑯ Aktenzeichen: P 42 28 528.3

⑯ Anmeldetag: 27. 8. 92

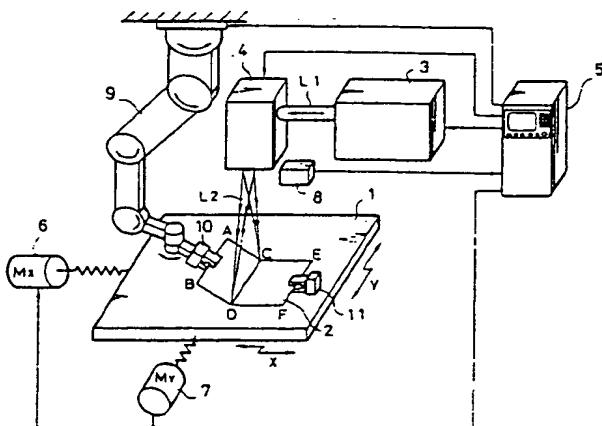
⑯ Offenlegungstag: 4. 3. 93

⑯ Erfinder:

Nashiki, Masayuki, Aichi, JP

## ⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung

⑯ Der zu verformende Abschnitt eines Metallblechstücks wird durch Bestrahlen mit einem mit hoher Geschwindigkeit bewegten Laserstrahl erwärmt. Wenn der zu verformende Abschnitt eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat, wird auf den Abschnitt eine Biegekraft aufgebracht, um das Stück zu biegen. Wenn die Gestalt des Metallblechstücks zu einem kreisförmigen Bogen von 90° mit einem vorbestimmten Radius zu verformen ist, erfolgt beispielsweise die Durchführung eines sechsmaligen Biegeprozesses, so daß das Metallblechstück in sechs Verarbeitungsabschnitte unterteilt wird und die Prozesse nacheinander einzelne Bögen bilden, nachdem eine Kante des Metallblechteils fixiert worden ist. Die Erfindung nutzt den Umstand, daß die Elastizitätsgrenze eines Stahls durch Erwärmung verringert wird und ein Metallblechteil mit Hilfe eines Laserstrahls lokal erwärmt werden kann. Aus diesem Grund werden Formen überflüssig, und es ist eine billige Fertigung möglich.



DE 42 28 528 A 1

DE 42 28 528 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Metallblechverarbeitung, beispielsweise ein Verfahren zum Schneiden, Biegen, Ziehen, Schweißen und Modifizieren eines Metallblechs. Außerdem betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Verarbeiten von Metallblech.

Bei der herkömmlichen Metallblechverarbeitung erfolgt das Schneiden einer einfachen Kontur durch einen Metallblechschnieder, der eine gerade Linie schneidet, während eine komplizierte Kontur mit Hilfe einer Revolverstanzpresse geschnitten wird, oder indem Spezialstanzen für diesen Zweck hergestellt werden oder mit Hilfe einer Maschine geschliffen wird. Das Biegen von Metallblech erfolgt durch eine Metallblech-Biegevorrichtung mit Hilfe verschiedener Standardformen oder mit Hilfe von Spezialformen. Das Ziehen von Metallblech erfolgt mittels einer Presse mit einer Ziehmaschine, die mit Spezialformen bestückt ist. Das Schweißen von Metallblech erfolgt durch eine Metallblech-Schweißvorrichtung, die von einer Bedienungsperson oder einem Robotor betätigt wird. Das Modifizieren von Metallblechmaterial, beispielsweise eine Warmbehandlung, erfolgt praktisch nur in Ausnahmefällen.

Dadurch, daß bei dem herkömmlichen Schneiden, Biegen und Ziehen von Metallblech für komplizierte Konturen Spezialformen verwendet werden, ergibt sich das Problem, daß bezüglich der Gestalt der Werkstücke nur wenig Gestaltungsfreiheit besteht. Das aggregatmäßige Zusammenfassen einiger oder sämtlicher einer Reihe von Bearbeitungsschritten von Metallblechteilen zu einer einzigen Vorrichtung ist praktisch ein Äquivalent zu der bloßen Aneinanderreihung von Maschinen, so daß trotz einer verringerten Verarbeitungszeit oder einer gewissen Automatisierung die dadurch erreichten Kostenvorteile und der Vorteil eines geringeren Platzbedarfs für die gesamte Anlage beschränkt sind. In anderen Worten: das Problem besteht in der Schwierigkeit, eine Metallblechverarbeitungsvorrichtung zur Verfügung zu stellen, die verschiedene Arten der Metallblechverarbeitung durchzuführen vermag, relativ kostengünstig ist und klein bemessen ist.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Metallblechverarbeitung anzugeben, bei dem die Gestaltungsfreiheit hinsichtlich Länge, Biegewinkel oder Ziehform vergrößert ist, ohne daß dabei eine Spezialform verwendet werden muß. Außerdem soll eine Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung angegeben werden, die verschiedene Arten der Metallblechverarbeitung bei relativ geringen Kosten und geringer Baugröße durchzuführen vermag.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die in den Patentansprüchen angegebene Erfindung. Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung schafft die Erfindung ein Metallblechverarbeitungsverfahren, welches folgende Schritte umfaßt: Ein zu verformender Metallblech-Abschnitt wird mittels Laserstrahl bestrahlt, welcher mit hoher Geschwindigkeit den zu verformenden Abschnitt abtastet, um ihn zu erwärmen, und auf den zu verformenden Abschnitt wird eine Kraft aufgebracht, um das Metallblech zu verarbeiten.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung eine Laserbearbeitungsanlage, die folgende Merkmale aufweist: einen Laseroszillator; eine Laserstrahleiteinheit zum Leiten eines von dem Laseroszillator ausgegebenen Laserstrahls, um diesen nach Bedarf mittels beispielsweise einer Linse zu konvergieren; eine Abtasteinrichtung zum abtastenden Bewegen des Laserstrahls

mit hoher Geschwindigkeit entlang einer Geraden oder einer wählbaren Kontur; eine Verformungseinrichtung zum Aufbringen einer Kraft auf ein Metallblech-Werkstück, um dieses mit dem Laserstrahl durch Abastung bei hoher Geschwindigkeit bestrahlte Werkstück zu verformen; und eine Steuereinrichtung zum Steuern der vorgenannten Einrichtungen nach Maßgabe verschiedener für das Metallblech vorab eingestellter Bearbeitungsbedingungen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Metallblechverarbeitung mit folgenden Merkmalen geschaffen: ein mit hoher Geschwindigkeit abtastend bewegter Laserstrahl wird auf eine wählbare gerade Linie auf einer Metallblechstückebene aufgestrahlt, um den Abschnitt entlang der geraden Linie zu erwärmen, und auf die gerade Linie wird eine Biegekraft aufgebracht, um das Metallblechstück zu biegen, wenn der Abschnitt entlang der geraden Linie eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat. Das Biegen erfolgt sequentiell auf etwa parallel zueinander in vorbestimmten Abständen liegenden geraden Linien innerhalb der zu verformenden Abschnitte des Metallblechs, wodurch das Metallblech zu einer gekrümmten Fläche gebogen wird, deren Querschnitt im wesentlichen durchgehend und glatt ist.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Metallblechverarbeitungsverfahren geschaffen, bei dem mit Hilfe eines Laserstrahls ein Metallblechstück einer Warmbehandlung ausgesetzt wird. Die Warmbehandlung erfolgt folgendermaßen: Ein Laserstrahl mit vorbestimmtem Strahldurchmesser wird mit einer derartigen Geschwindigkeit aufgestrahlt, daß der bestrahlte Abschnitt des Metallblechs eine vorbestimmte Temperatur annimmt; es werden sequentiell die einer Warmbehandlung zu unterziehenden Abschnitte des Metallblechs erwärmt. Bei einem Verfahren wird der der Warmbehandlung zu unterziehende Abschnitt des Metallblechs erwärmt, indem ein abtastend bewegter Laserstrahl solange aufgestrahlt wird, bis die Temperatur des bestrahlten Abschnitts des Metallblechteils auf eine vorbestimmte Temperatur angehoben ist; oder es wird von einem Verfahren Gebrauch gemacht, bei dem der Bearbeitungsprozeß des Metallblechs aus mehreren Prozessen besteht: Prozessen für solche zu verformenden Abschnitte, die um eine geringe Distanz voneinander getrennt sind, werden derart ausgewählt, daß zwischen den Prozessen keine gegenseitige thermische Beeinflussung entsteht; oder aber die aus dem einen Prozeß resultierende Wärme wird durch Kühlung beseitigt, bevor der nächste Prozeß durchgeführt wird, wobei das Abkühlen in einem derartigen Ausmaß erfolgt, daß keine gegenseitige thermische Beeinflussung erfolgt.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine graphische Darstellung des Prinzips des erfindungsgemäßen Metallblechverarbeitungsverfahrens;

Fig. 2 eine graphische Darstellung des Prinzips des erfindungsgemäßen Metallblechverarbeitungsverfahrens;

Fig. 3 eine Skizze eines Beispiels zur Bearbeitung mit Hilfe der erfindungsgemäßen Metallblechverarbeitungsvorrichtung;

Fig. 4 eine Skizze eines zweiten Beispiels für die Bearbeitung mit Hilfe der erfindungsgemäßen Metallblechverarbeitungsvorrichtung;

Fig. 5 eine Skizze eines dritten Beispiels für die Bearbeitung mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung

zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 6 ein vierthes Beispiel für die Bearbeitung mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 7 eine fünftes Beispiel für die Bearbeitung mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 8 eine perspektivische Ansicht eines Beispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 9 eine perspektivische Ansicht eines Beispiels der Hauptteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 10 eine perspektivische Ansicht eines weiteren Beispiels für die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 11 eine Ansicht eines sechsten Beispiels für die Bearbeitung mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 12 ein siebtes Beispiel für die Bearbeitung mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 13 ein Flußdiagramm eines ersten Beispiels für den Biegevorgang gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 14 eine Ansicht eines ersten Beispiels eines Biegeprozesses gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 15 eine Ansicht eines zweiten Beispiels für die Biegeprozedur gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren;

Fig. 16 eine Ansicht eines dritten Beispiels der Biegeprozedur gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren;

Fig. 17 eine Ansicht eines vierten Beispiels der Biegeprozedur nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 18 eine vergrößerte Ansicht des eingekreisten Ausschnitts Q in Fig. 17;

Fig. 19 eine Ansicht eines fünften Beispiels der Biegeprozedur nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 20 eine Ansicht eines sechsten Beispiels für die Biegeprozedur gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren;

Fig. 21 ein Flußdiagramm, welches ein zweites Beispiel für eine Biegeprozedur gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung darstellt;

Fig. 22 eine Ansicht eines Beispiels für die Vorbearbeitung eines Werkstücks für einen Biegevorgang, der in Fig. 23 gezeigt ist;

Fig. 23 eine Ansicht eines siebten Beispiels für einen Biegeprozeß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 24 ein Flußdiagramm eines Beispiels eines Ziehverfahrens gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 25A bis 25C Ansichten eines ersten Beispiels eines Ziehverfahrens gemäß dem erfindungsgemäßen Metallblechverarbeitungsverfahren;

Fig. 26 eine perspektivische Ansicht eines weiteren Beispiels des Werkstück-Fixierabschnitts der in Fig. 8 gezeigten Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 27 ein Flußdiagramm eines Beispiels des Warmbehandlungsverfahrens gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 28A bis 28D ein Beispiel des Laserstrahl-Abtastverfahrens gemäß dem erfindungsgemäßen Metallblechverarbeitungsverfahren;

Fig. 29 ein Blockdiagramm eines ersten Beispiels einer Laserleistungssteuerung für das erfindungsgemäße Metallblechverarbeitungsverfahren;

Fig. 30 ein Blockdiagramm eines zweiten Beispiels einer Laserleistungssteuerung für das erfindungsgemäße Verfahren zur Metallblechverarbeitung;

Fig. 31 eine Blockdiagramm eines Beispiels einer Metallblechverarbeitungsanlage, die auf einem Verformungsprogramm gemäß der Erfindung beruht; und

Fig. 32 ein Flußdiagramm eines Beispiels der Bearbeitungsprozedur mit Hilfe verschiedener erfindungsgemäßer Metallblechverarbeitungsverfahren.

Zunächst soll das Grundprinzip einer Metallblechverarbeitung mit Hilfe eines Lasers beschrieben werden.

Fig. 1 zeigt ein Beispiel für die Beziehung zwischen der Zugfestigkeit  $P/S$  und einer Dehnung  $\Delta/l$  eines Stahls. Die Zone zwischen dem Ursprung 0 und einem Punkt X1 wird als Elastizitätsbereich bezeichnet, in welchem das Material seine ursprüngliche Form wieder annimmt, nachdem die Zuglast auf Null zurückgegangen ist. Die Zone von dem Punkt X1 bis zu den Punkten X2 und X3 ist die Plastizitäts-Zone, in der das Material nach Reduzieren der Zuglast auf den Wert Null nicht vollständig in den ursprünglichen Zustand zurückkehrt. Der Punkt X1 wird als Elastizitätsgrenze bezeichnet; die Zuglast H an dieser Stelle weist die in Fig. 2 skizzierte Temperaturabhängigkeit auf. Wenn also ein Metallblechstück ABDFEC gemäß Fig. 3 entlang dem Linienabschnitt CD gebogen werden soll, wird der Linienabschnitt CD mit einem Laserstrahl bestrahlt, der mit hoher Geschwindigkeit abtastend bewegt wird, um den Abschnitt entlang dem Liniensegment C beispielsweise bis auf etwa  $800^{\circ}\text{C}$  zu erwärmen. Durch Aufbringen einer Kraft in Pfeilrichtung an dem Ende AB bei fixierter Ebene CDEF wird das Stahlblech mühelos um das Liniensegment CD herum gebogen, da die Elastizitätsgrenze für den Abschnitt des Liniensegments CD nur 1/10 oder weniger von derjenigen der anderen Abschnitte beträgt. Weiterhin ist gemäß Fig. 4 eine Biegeverarbeitung einer praktisch glatt gekrümmten Fläche ebenfalls möglich, indem der Abschnitt zwischen den Endabschnitten G und H eines Metallblechstücks ABFE in geeigneten Abständen mit einem bei hoher Geschwindigkeit bewegten Laserstrahl bestrahlt wird. Durch intermittierendes Schneiden oder Schaffen einer Nut entlang einem Teil oder der Gesamtheit des zu biegenden Abschnitts lässt sich der anschließende Biegevorgang erleichtern. Weiterhin kann gemäß Fig. 5 der Umfang IJKL auf dem Metallblechstück ABFE mit einem bei hoher Geschwindigkeit abtastend bewegten Laserstrahl bestrahlt werden. Dann kann der Abschnitt der Scheibe IJKL durch Aufbringen einer Kraft in Pfeilrichtung auf die Scheibe IJKL konkav ausgeformt werden, wenn eine geeignete Temperatur an dem Abschnitt am Umfang IJKL erreicht ist. Weiterhin kann gemäß Fig. 6 und 7 dann, wenn der Bereich innerhalb der Scheibe IJKL in geeigneten Intervallen mit einem bei hoher Geschwindigkeit bewegten Laserstrahl bestrahlt wird, der Ziehvorgang auch zu einer abgestuften oder gekrümmten Fläche führen.

Fig. 8 ist eine perspektivische Ansicht eines Beispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung. In dieser Vorrichtung wird von einem Laserstrahl-Abtastzillator 13 ein Laserstrahl L1 geliefert, der in eine Photo-Wandlereinrichtung 4 eingeleitet wird. Der Laserstrahl wird mit einer Laserstrahl-Leiteinrichtung, die sich innerhalb der Wandlereinrichtung 4 befindet,

auf einen geeigneten Punkt konvergiert, und der konvergierte Laserstrahl L2 wird von einer sich innerhalb der Wandlereinrichtung 4 befindenden Abtasteinrichtung abtastend bewegt, so daß eine wahlweise Kontur entsteht, beispielsweise eine oder mehrere gerade Linien, kreisförmige Bögen, oder Rechtecke. Im vorliegenden Beispiel wird der Laserstrahl L2 von der Wandlereinrichtung 4 konvergiert und tastet eine gerade Linie zwischen einem Punkt C und einem Punkt D auf einem als Werkstück fungierenden Metallblechstück 2 ab.

Das Metallblechstück 2 befindet sich auf einem Tisch 1, der in X- und in Y-Richtung mit Hilfe eines Servomotors 6 für die X-Richtung und eines Servomotors 7 für die Y-Richtung bewegt und positioniert werden kann. Ein Ende des Metallblechstücks 2 wird von einer Werkstück-Fixiereinrichtung 11 ergriffen, die sich auf dem Tisch 1 befindet, während des andere Ende des Werkstücks von einer Werkstück-Fixiereinrichtung 10 ergriffen wird, die sich an dem freien Ende eines gelenkigen Roboters 9 befindet. Die Steuerung des Laseroszillators 3, der Wandlereinrichtung 4, des Tisches 1 und des gelenkigen Roboters 9 erfolgt durch die Steuereinheit 5, und die Steuerung der verschiedenen Arten von Metallblechverarbeitungen erfolgt nach Maßgabe der erfaßten Temperatur des zu bearbeitenden Abschnitts, wie sie von einem Temperaturdetektor 8 festgestellt wird.

Fig. 9 ist eine perspektivische Ansicht, die die Einzelheiten der optischen Wandlereinrichtung 4 der in Fig. 8 gezeigten Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung veranschaulicht. Der Laserstrahl L1 durchläuft eine Abtasteinheit 23, die in zwei axialen Richtungen  $\alpha$  und  $\beta$  frei beweglich ist, wobei der Laserstrahl über eine Fokussierlinse 20 geleitet wird, um die Konvergenz des Lichts entlang dem Verarbeitungs-Liniensegment CD einzustellen. Der Laserstrahl gelangt über eine konvergierende Linse 21 auf das Verarbeitungs-Liniensegment CD des Metallblechstücks 2. Die Fokussierlinse 20 wird in ihrem Brennpunkt justiert, indem sie entlang der Richtung S von einem Brennpunkt-Einstellservomotor 22 gesteuert wird. Es ist ebenfalls möglich, eine Einrichtung zum Bewegen der konvergierenden Linse 21 im optischen Weg vorzusehen als Mittel zum Einstellen der Konvergenz des Laserstrahls L2 im Arbeitspunkt. Ferner können Mittel vorgesehen sein, mit dem sowohl die Fokussierlinse 20 als auch die konvergierende Linse 21 bedient werden.

Fig. 10 ist eine perspektivische Ansicht eines weiteren Beispiels einer Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung gemäß der Erfindung. Der Tisch 1 ist fixiert, wohingegen die optische Wandlereinrichtung 4 in ihrer Lage innerhalb des Bearbeitungsraums mit Hilfe eines flexiblen Kabels 12 und eines gelenkigen Roboters 13 einstellbar ist. Damit läßt sich die Gestaltungsfreiheit bei der Metallblechverarbeitung stark erhöhen, bedingt durch den Umstand, daß die Richtung des Laserstrahls L2 gesteuert werden kann.

Während bei den oben beschriebenen Ausführungsformen ein Temperaturdetektor 8 dazu verwendet wird, den Metallblechverarbeitungsprozeß zu steuern, ist es ebenfalls möglich, die Reaktionskraft des Metallblechstücks 2 vor dem Erwärmen vorab zu messen und zu speichern, dann den Laserstrahl L2 über das Werkstück zu führen, so daß die Metallblechverarbeitung erfolgt, während die Leistung des Laserstrahls L2 derart gesteuert wird, daß die Reaktionskraft des Werkstücks auf einem konstanten Wert gehalten wird, wobei die Reaktionskraft des Metallblechstücks 2 beispielsweise 1/3

des gespeicherten Anfangswerts der Reaktionskraft beträgt. Weiterhin kann die Metallblechverarbeitung auch derart erfolgen, daß die abgeschätzten Reaktionskräfte des Metallblechstücks 2 bei Zimmertemperatur und in erwärmtem Zustand vorab durch Ausrechnen nach Maßgabe der Form des Werkstücks erhalten werden, um mit den aktuell gemessenen Reaktionskräften verglichen zu werden, damit festgestellt wird, ob sich das Werkstück in einem biegefähigen Zustand befindet, und ob die Leistung des Laserstrahls den richtigen Wert hat. Andererseits ist die Wärmeabsorptionsgeschwindigkeit des Werkstücks wichtig für die Bestimmung der Verarbeitungseffizienz bei der Laserbearbeitung. Um zu verhindern, daß der Laserstrahl L2 durch die Oberfläche des Werkstücks reflektiert wird, kann die Werkstück-Fixiereinrichtung 10 des gelenkigen Roboters 9 beispielsweise ersetzt werden durch eine Aufbringvorrichtung für ein sprühfähiges wärmeabsorbierendes Mittel, damit dieses wärmeabsorbierende Mittel auf den zu bearbeitenden Abschnitt des Werkstücks aufgebracht wird.

In einigen Fällen ergibt sich ein Problem durch die relative Rauheit der Schweißfläche oder den sogenannten Grat der Schnittfläche des Metallblechstücks 2. Mit hin kann die Werkstück-Fixiereinrichtung 10 des gelenkigen Roboters 9 ersetzt werden durch eine Schleifvorrichtung, die die Schweißfläche oder die Schnittfläche des Metallblechstücks 2 für die Endbearbeitung schleift.

Im folgenden soll ein aktuelles Beispiel für die Metallblechverarbeitung mittels Laser beschrieben werden. Zunächst wird ein Metallblechstück mit der in Fig. 11 dargestellten Kontur aus einem Blechmaterial geschnitten, wozu ein Metallblech-Schneidverfahren mittels Laserstrahl verwendet wird. Dann wird ein Liniensegment H3H4 mit einem Laserstrahl, der mit hoher Geschwindigkeit bewegt wird, bestrahlt. Wenn aufgrund der Temperaturzunahme des mit dem Laserstrahl bestrahlten Bereichs dessen Elastizitätsgrenze absinkt, wird von dem gelenkigen Roboter auf den mit dem Laserstrahl bestrahlten Abschnitt eine Biegekraft aufgebracht, bis eine Biegung von 90° erfolgt ist. In ähnlicher Weise erfolgt eine Biegung um 90° auch an den Liniensegmenten H3H5, H5H6, H4H6, um die in Fig. 12 dargestellte Gestalt zu erhalten. Die Liniensegmente H1H3 und H9H3, die in dem Raum zusammenfallen, werden dann zum Zwecke der Schweißung mit dem Laserstrahl bestrahlt. Auf ähnliche Weise erfolgt das Schweißen entlang den Liniensegmenten H2H4 und H11H4, H12H6 und H8H6, H7H5 und H10H5, um eine Kastenform zu erhalten, deren endgültige Gestalt in Fig. 12 gezeigt ist. Außerdem wird die Rauheit der Schweißung mit einem von den gelenkigen Robotern 9 gehaltenen Schleifwerkzeug zur Endbearbeitung weggeschliffen. Ferner erfolgt mit Hilfe des Lasers ein Vergüten, um die Festigkeit des Kastens zu verbessern. Dies geschieht in einem geeigneten Verarbeitungsschritt innerhalb der oben erläuterten Verarbeitungsschritte. Damit lassen sich mit Hilfe einer einzigen Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung die verschiedenen Metallverarbeitungsvorgänge wie Schneiden, Biegen und Schweißen des Metallblechs sowie das End-Schleifen und Vergüten der Schweißung erreichen.

Wie erläutert wurde, geschehen gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung das Biegen oder Ziehen eines Metallblechstücks mit Hilfe eines auf einem einfachen Grundprinzip basierenden Metallblechverarbeitungsverfahrens, während im Stand der Technik viele Typen von Spezialformen verwendet werden mußten. Die ei-

ten hohen Grad  
tungsfreiheit  
kann auf  
Vor...

nen hohen Grad an Bewegungsfreiheit und Gestaltungsfreiheit ermögliche Metallblechverarbeitung kann auf einfache Weise erreicht werden, so daß eine Verarbeitung wie das Schneiden, das Schweißen, die Warmbehandlung und das Biegen mit Hilfe einer einzigen Maschine zur Metallblechverarbeitung möglich sind. Deshalb besteht die Möglichkeit, die Gesamtkosten herabzusetzen und die Vorrichtung zur Metallverarbeitung klein zu dimensionieren. Ferner wird eine Kostenverringerung bei der eigentlichen Metallblechverarbeitung erreicht.

Im folgenden werden verschiedene Verfahren zur Metallblechverarbeitung erläutert, die mit Hilfe der oben beschriebenen Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung durchgeführt werden. Zunächst soll ein Metallblechverarbeitungsverfahren zum Biegen eines Metallblechstücks mit Hilfe eines Lasers gemäß der Erfindung unter Bezugnahme auf das in Fig. 13 gezeigte Flußdiagramm erläutert werden. Hinsichtlich der Bearbeitungsbedingungen sei angenommen, daß das in Fig. 14 dargestellte Metallblechstück ABFE zu einer Form zu bearbeiten ist, die einem kreisförmigen Bogen von  $90^\circ$  mit einem Radius  $R_w$  entspricht, wie es in Fig. 15 gezeigt ist. Diese Form soll durch sechsmaliges Biegen mit Hilfe der in Fig. 8 gezeigten Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung erreicht werden. Zunächst wird eine Metallblechstück-Kante EF des Metallblechstück-Werstücks ABEF ergriffen und von der Werkstück-Fixiereinrichtung 11 fixiert (Schritt S1). Dann wird ein erster Prozeß gestartet als Verarbeitungsschritt mit der Nr.  $n=1$  (Schritt S2). Um das Biegen an einem Liniensegment  $CnDn$  durchzuführen, wird durch Berechnung auf der Grundlage der Information bezüglich der Gestalt des Blechstücks und der Information über die endgültige Form des Blechstücks die Lage des Liniensegments  $CnDn$  ermittelt (Schritt S3). Der Tisch 1 wird zu der Position bewegt, in der das Liniensegment  $CnDn$  von dem Laserstrahl  $L_2$  bestrahlt werden kann. Das Liniensegment  $CnDn$  wird mit dem Laserstrahl  $L_2$  bestrahlt, der mit Hilfe der optischen Wandlerseinrichtung 4 abstand bewegt wird. Während die Temperatur an dem Liniensegment  $CnDn$  von dem Temperaturdetektor 8 gemessen wird, wird die Leistung des Laserstrahls  $L_1$  durch den Laseroszillator 3 derart gesteuert, daß eine vorbestimmte Temperatur an dem Liniensegment  $CnDn$  erreicht wird (Schritt S4). Dann ermittelt die Steuereinheit 5, ob die Temperatur an dem Liniensegment  $CnDn$  auf die vorbestimmte Temperatur angestiegen ist (Schritt S5), und falls die vorbestimmte Temperatur noch nicht erreicht ist, geht das System zum Schritt S4 zurück, und die Bestrahlung wird fortgesetzt, bis die vorbestimmte Temperatur erreicht ist.

Wenn im Schritt S5 die vorbestimmte Temperatur erreicht ist, wird die Kante AB des Metallblechstücks von der Werkstück-Fixiereinrichtung 10 ergriffen, deren Position von dem gelenkigen Roboter 9 gesteuert werden kann. Durch Berechnung wird der Weg von der derzeitigen Lage der Blechstückkante AB zu der Lage der Blechstückkante AB nach dem Biegen um  $15^\circ$  an dem Liniensegment  $CnDn$  ermittelt. Die Kante AB des Metallblechstücks wird in Pfeilrichtung P nach Maßgabe des so ermittelten Wegs bewegt, um eine Biegung um  $15^\circ$  entlang dem Liniensegment  $CnDn$  zu erhalten (Schritt S6). Als nächstes wird der Verarbeitungsschritt "n" um "1" erhöht (Schritt S7), und es wird ermittelt, ob sämtliche Prozesse abgeschlossen sind ( $n=7$ ) (Schritt S8). Wenn die Schritte noch nicht abgeschlossen sind, erfolgt der nächste Verarbeitungsschritt "n" (Schritt S3

bis S7) in ähnlicher Weise. Wenn der sechste Verarbeitungsschritt des Liniensegments C6D6 abgeschlossen ist, wird im Schritt S7 "n=7" erreicht, wodurch die Metallblechverarbeitung abgeschlossen wird und schließlich eine gekrümmte Oberflächenbearbeitung mit der in Fig. 15 gezeigten Form abgeschlossen ist. Fig. 16 zeigt ein Beispiel für einen Fall, bei dem der oben beschriebene Biegeprozeß wiederholt wird, jedoch noch kleinere Intervalle zwischen den einzelnen Liniensegmenten gewählt werden, so daß die Ausbildung einer im wesentlichen durchgehenden und glatten gekrümmten Oberfläche möglich ist.

Weiterhin läßt sich der Durchmesser des Laserstrahls, der auf das Liniensegment CD des Metallblechstücks ABEF aufgestrahlt wird, auf einen geeigneten Durchmesser  $R_1$  gemäß Fig. 17 einstellen, und das Biegen kann erfolgen, indem der zu erwärmende Abschnitt auf dem Liniensegment CD mit einem Laserstrahl bestrahlt wird, der mit einer Breite über das Material geführt wird, die durch einen schraffierten Abschnitt angedeutet ist. Wie aus der vergrößerten Ansicht nach Fig. 18 hervorgeht, die die Einzelheit Q in Fig. 17 zeigt, ist die Bearbeitung zu einer gebogenen Form eines Biegeabschnitts RS möglich, welche im wesentlichen einem kreisförmigen Bogen entspricht.

Durch Wiederholen des oben erläuterten Bearbeitungsverfahrens für Liniensegmente, deren Abstand von dem Liniensegment CD größer ist als der Durchmesser des aufgestrahlten Laserdurchmessers, ist die Bearbeitung zu einer Form möglich, bei der kreisförmige Bögen und gerade Linienschnitte einander abwechseln, wie es gemäß Fig. 14 der Fall ist bei einem kreisförmigen Bogenabschnitt RS, einem geraden Linienschnitt ST und einem daran anschließenden kreisförmigen Bogenabschnitt TU. Durch Wiederholen des Vorgangs mit Intervallen gleich oder kleiner als der Laserstrahl-Durchmesser ist die Bearbeitung zu einer Form möglich, bei der ein durchgehender kreisförmiger Bogen entsteht, wie er in Fig. 20 dargestellt ist. Wenn die Ausbildung der gekrümmten Fläche in der oben beschriebenen Weise erfolgt, laufen die Anforderungen an die Präzision der fertigen Werkstückform und die Glattheit der bearbeiteten Oberfläche den Erfordernissen der raschen Verarbeitungszeit zuwider. In der Praxis ist es notwendig, die Breite des Laserstrahls und das Intervall, in welchem die Verformung durchgeführt wird, nach Maßgabe der erforderlichen Präzision und Glattheit auszuwählen.

Als nächstes soll ein Beispiel für ein weiteres Verfahren der Biegebearbeitung unter Bezugnahme auf das in Fig. 21 gezeigte Flußdiagramm erläutert werden. Es sei angenommen, die Arbeitsbedingungen für ein in Fig. 22 gezeigtes Metallblechstück ABFE erforderten die Ausbildung zu einer Form, wie sie in Fig. 23 gezeigt ist, wobei die in Fig. 8 gezeigte Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung verwendet werden soll. Zunächst wird die Kante EF des in Fig. 22 dargestellten Werkstücks ergriffen und von der Werkstück-Fixiereinrichtung 11 fixiert (Schritt 21). Als nächstes wird der Tisch in eine Position bewegt, in der das Liniensegment CD mit dem Laserstrahl  $L_2$  bestrahlt werden kann. Der Laserstrahl  $L_2$  wird mit einer Leistung (beispielsweise 1/3 der Leistung zum Schneiden mit dem Laserstrahl) mit einer solchen Geschwindigkeit des Laserstrahls  $L_2$  aufgestrahlt, daß eine Nut entlang dem Liniensegment CD gebildet wird. Dieser Vorgang zur Bildung der Nut gemäß Fig. 22 stellt einen Vorbehandlungsprozeß dar (Schritt S22).

Als nächstes wird von einer Bedienungsperson oder von dem gelenkigen Roboter 9 das Metallblech-Werkstück gewendet, und erneut wird eine Kante FE von der Werkstück-Fixiereinrichtung 11 ergriffen und fixiert (Schritt S23). Das Liniensegment CD wird mit dem Laserstrahl L2 bestrahlt, und die Temperatur am Liniensegment wird auf eine für das Biegen geeignete, vorbestimmte Temperatur angehoben (Schritte S24 und S25). Nach dem Erreichen einer vorbestimmten Temperatur wird die Kante AB von der Werkstück-Fixiereinrichtung 10 ergriffen, welche von dem gelenkigen Roboter 9 gesteuert in eine gewünschte Position bringbar ist, und der Weg von der derzeitigen Lage der Kante AB des Metallblechstücks zu der Position der Kante AB nach dem Biegen um 90° an dem Liniensegment CD wird durch Berechnen ermittelt. Die Kante AB des Metallblechstücks wird in Pfeilrichtung gemäß dem errechneten Weg bewegt und um das Liniensegment CD herum um 90° gebogen (Schritt S26), um das Biegen in die in Fig. 23 gezeigte Form zu erreichen.

Die Nutbildung dient zum Erleichtern des Biegevorgangs. Sie kann auf der Vorderseite und der Rückseite oder aber lediglich auf einer Seite des Metallblechstücks erfolgen. Die Auswahl unter den genannten Möglichkeiten erfolgt auf der Grundlage der späteren Verwendung des Werkstücks und der erforderlichen Genauigkeit bei der Bildung des abgewinkelten Abschnitts.

Als nächstes soll anhand des in Fig. 24 dargestellten Flußdiagramms das erfundungsgemäße Verfahren zur Metallblechverarbeitung anhand des Ziehens eines Metallblechstücks mit Hilfe eines Laserstrahls erläutert werden. Es sei angenommen, mit Hilfe der in Fig. 8 gezeigten Vorrichtung zur Metallblechverarbeitung solle ein Metallblechstück ABFE gemäß Fig. 25A durch sechsmaliges Ziehen mit Hilfe eines Laserstrahls 2 eines Strahldurchmessers R1 in die in Fig. 6 skizzierte Form gebracht werden. Hier sind die Werkstück-Fixierabschnitte in der Metallblechverarbeitungsvorrichtung nach Fig. 8 etwas anders von den zuvor beschriebenen Teile. In Fig. 26 sind Werkstück-Fixiereinrichtungen 11-1, 11-2, 11-3 und 11-4 dargestellt, die an dem Tisch 1 angebracht sind, um eine Kante ABFE eines in Fig. 25A dargestellten Metallblechstücks zu fixieren (Schritt S11). Als nächstes wird durch Einstellen der Schrittfolge n = 1 ein erster Prozeß gestartet (Schritt S12).

Die Lage des kreisförmigen Abschnitts in in Fig. 6 wird erhalten durch Berechnung auf der Grundlage der Information bezüglich des Metallblechmaterials und der Endform des Metallblechstücks (Schritt S13). Der Tisch 1 wird in eine Position bewegt, in der der kreisförmige Abschnitt in mit dem Laserstrahl L2 bestrahlt werden kann. Der Strahldurchmesser des Laserstrahls L2 wird mit Hilfe der Photo-Wandlereinrichtung 4 auf "R1" eingestellt, und der Laserstrahl wird auf dem kreisförmigen Abschnitt in in der in Fig. 25A dargestellten Weise aufgestrahlt, wobei der Laserstrahl eine abtastende Bewegung vollzieht. Die Leistung des Laserstrahls L1 wird von dem Laseroszillator 3 gesteuert, während die Temperatur des kreisförmigen Abschnitts in durch den Temperaturdetektor 8 gemessen wird, um eine vorbestimmte Temperatur an dem kreisförmigen Abschnitt in zu erreichen (Schritt S14). Dann wird von der Steuereinheit 5 beurteilt, ob die Temperatur am kreisförmigen Abschnitt in auf die vorbestimmte Temperatur angestiegen ist (Schritt S15). Falls nein, kehrt das System zum Schritt S14 zurück, bei dem die Bestrahlung fortgesetzt wird, bis die vorbestimmte Temperatur erreicht ist.

Wenn im Schritt S15 die vorbestimmte Temperatur

erreicht worden ist, wird von dem gelenkigen Roboter 9 die in Fig. 26 dargestellte Ziehlehre MP ergriffen, und durch Berechnung wird der Weg von der derzeitigen Lage des Scheitels M zu der Lage des Scheitels M nach dem ersten Bearbeitungsprozeß ermittelt. Durch Pressen der Ziehlehre MP, die sich entlang dem berechneten Weg bewegt, wird eine nach oben gerichtete Kraft (eine in Richtung des Pfeils P gerichtete Kraft) auf den Scheitel M ausgebracht, um den Ziehvorgang für den kreisförmigen Abschnitt in durchzuführen (Schritt S16). Wenn dieser erste Bearbeitungsprozeß abgeschlossen ist, weist der kreisförmige Abschnitt in die konvexe Form auf, die in Fig. 25B gezeigt ist. Der Querschnitt entlang der gestrichelten Linie VW in Fig. 25B ist in Fig. 25C dargestellt.

Als nächstes wird die Schrittzahl der Verarbeitung n um "1" erhöht (Schritt 17). Es wird beurteilt, ob sämtliche Prozesse abgeschlossen sind (n = 7) (Schritt 18). Falls die Prozesse noch nicht abgeschlossen sind, erfolgt der Bearbeitungsprozeß "n" (Schritte S13 bis S17) in ähnlicher Weise. Wenn der sechste Bearbeitungsprozeß für den kreisförmigen Abschnitt 16 abgeschlossen ist, wird n = 7 im Schritt S18 erreicht, wodurch sämtliche Bearbeitungsschritte abgeschlossen werden. Durch die Bearbeitungsschritte wurde eine durchgehend konvexe Form gemäß Fig. 6 fertiggestellt.

Fig. 7 zeigt ein Beispiel für die oben beschriebenen Ziehprozesse, wenn diese in feinen Intervallen durchgeführt werden, die ungefähr gleich oder kleiner sind als die Breite des Laserstrahls L2, d. h., eine Ausdehnung besitzen, gemäß der der von dem Laserstrahl L2 bestrahlte Abschnitt eines vorausgehenden Prozesses und der von dem Laserstrahl L2 bestrahlte Abschnitt des nächsten Prozesses einander überlappen. In diesem Fall ist die Ausbildung einer konvexen Form möglich, die praktisch kontinuierlich und glatt ist. Während anhand der Fig. 6 und 7 das Ziehen von Formen mit kugelförmiger Gestalt erläutert ist, können auch kastenförmige oder pyramidenförmige Teile in ähnlicher Weise geformt werden. Die mit einem abtastenden Laserstrahl bestrahlten Linien sind nicht auf geschlossene Linien, die auf der Werkstückform durchgängig sind, beschränkt. Die Bearbeitung ist auch für solche Formen möglich, bei denen ein Teil der zu ziehenden Form fehlt.

Als nächstes soll anhand des in Fig. 27 gezeigten Flußdiagramms ein Warmbehandlungsverfahren mit Hilfe eines Laserstrahls entsprechend dem erfundungsgemäßen Metallblechverarbeitungsverfahren beschrieben werden.

Zunächst verwendet die Bedienungsperson die Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung nach Fig. 8 zur Eingabe der Information über den hinsichtlich Festigkeit zu vergütenden Teil des Metallblechs in die Steuereinheit 5 (Positionsinformation des der Warmbehandlung zu unterziehenden Metallblechabschnitts) (Schritt S31). Als nächstes wird das warmzubehandelnde Metallblechstück von der Werkstück-Fixiereinrichtung 10 des gelenkigen Roboters 9 ergriffen (Schritt S32). Der Tisch 1 wird nach Maßgabe der im Schritt S31 eingegebenen Positionsinformation in diejenige Position bewegt, in der der in der Festigkeit durch Warmbehandlung zu verbessern Abschnitt von dem Laserstrahl L2 bestrahlt werden kann, und der Laserstrahl L2 wird durch seine Abtastbewegung aufgestrahlt, um die Warmbehandlung zu vollziehen (Schritte S33 und S34). Dann wird von der Steuereinheit 5 beurteilt, ob sämtliche Prozesse der Warmbehandlung abgeschlossen sind (Schritt S32). Falls nicht, werden die Schritte S33 und S34 in ähnlicher Wei-

se für die verbleibenden Prozesse durchgeführt, um den Warmbehandlungsvorgang abzuschließen.

Im Hinblick auf die Festigkeit eines Metallblechteils bei der Ausbildung einer kastenförmigen Form ist es äußerst wirksam, die Nähe der abgewinkelten Abschnitte des Metallblechstücks zur Verbesserung der Steifigkeit einer Warmbehandlung zu unterziehen. Wenn die Steifigkeit des Metallblechs erhöht wird, ist es möglich, ein Metallblechmaterial zu verwenden, welches eine um eine Stufe geringere Dicke aufweist, wodurch Kostensparnis und eine Größenverringerung des Werkstücks erreicht werden.

Es sei darauf hingewiesen, daß ein aktuelles Verfahren zur Warmbehandlung mittels Laser vorsieht, die einer Warmbehandlung zu unterziehenden Abschnitte des Metallblechs sequentiell mit einer Geschwindigkeit zu erwärmen, bei der die Temperatur des bestrahlten Abschnitts  $80^\circ\text{C}$  bei einem vorbestimmten Laserstrahl-Durchmesser wird. Der Laserstrahl kann auch abtastend eingesetzt werden, um eine ähnliche Erwärmung zu erzielen. Weiterhin ist es ein grundsätzliches Erfordernis für die Warmbehandlung, daß die Erwärmung in einer solchen Zeit erfolgt, daß das Metall nicht geschmolzen wird. Außerdem muß ein Abschrecken durch Kühlen auf der Grundlage der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Metalls, welches keiner Warmbehandlung unterzogen wird, erfolgen, oder es muß eine zwangsweise Flüssigkeitskühlung erfolgen.

Um die Genauigkeit der gewünschten Formen bei der Ausbildung gekrümmter Oberflächenteile und beim Ziehen eines Metallblechstücks zu erreichen, muß dafür gesorgt werden, daß die Temperaturverteilung des zu verformenden Abschnitts eine erwartete Temperaturverteilung übersteigt. Wenn ein Prozeß durchgeführt wird, übersteigen möglicherweise die zu bearbeitenden Verformungsabschnitte nicht eine erwartete Temperaturverteilung, aufgrund der von dem vorhergehenden Prozeß verbliebenen Wärme. Von den Verfahren, mit deren Hilfe eine gegenseitige thermische Beeinflussung der kontinuierlich durchgeführten Verformungsprozesse vermieden werden kann, gibt es ein Verfahren, bei dem ein relativ weit abliegender Abschnitt aus den zu verformenden Punkten ausgewählt wird, oder es gibt ein Verfahren, bei dem ein Hilfsgas für das Schneiden mittels Laser oder Kühlluft eingesetzt wird und der nächstfolgende Prozeß begonnen wird, nachdem die Erwärmung aus dem vorhergehenden Prozeß soweit abgekühlt ist, daß es nicht zu einer gegenseitigen thermischen Beeinflussung kommt.

Als nächstes soll anhand eines in den Fig. 28A bis 28D dargestellten Beispiels ein Abtast-Bestrahlungsverfahren für den Laserstrahl erläutert werden, welches in Verbindung mit den oben beschriebenen Metallblechbearbeitungsverfahren eingesetzt wird. Wenn der Metallblechabschnitt mit der Breite  $d$  und der Länge  $1$  gemäß Fig. 28A einer Warmbehandlung zu unterziehen ist, so kommen folgende Verfahren in Betracht: Ein Verfahren gemäß Fig. 28B, bei dem der Durchmesser des Laserstrahls auf den Wert "d" eingestellt und der Laserstrahl einfach von rechts nach links abtastend über das Werkstück bewegt wird. Außerdem kommt ein in Fig. 28C skizziertes Verfahren in Betracht, bei dem der Durchmesser des Laserstrahls auf "d/2" eingestellt und der Laserstrahl entlang einem umlaufenden Weg mit der Breite  $d$  und der Länge  $1$  aufgestrahlt wird. Außerdem gibt es das in Fig. 28D dargestellte Verfahren, bei dem der Durchmesser des Laserstrahls auf "d/4" eingestellt wird, und der Laserstrahl so bewegt wird, daß er

zwei Umläufe mit der Breite von jeweils  $d$  und der Länge  $1$  macht. Weiterhin kommen folgende Verfahren in Betracht: Um eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu gewährleisten, wird die Wärmeleitfähigkeit der Umgebungsgebiete in Betracht gezogen, und die Bestrahlung erfolgt durch Erhöhen der Abtastgeschwindigkeit für denjenigen Abschnitt, der eine zu erwärmende Zone umgibt; oder die Stärke des Laserstrahls (die Laserleistung) wird für die Bestrahlung während der Abtastung variiert.

Fig. 29 ist ein Blockdiagramm eines ersten Beispiels für die Steuerung der Laserleistung, und anhand dieses Blockdiagramms soll ein Steuerverfahren für die Laserleistung durch Temperaturfassung des von dem Laserstrahl bestrahlten Abschnitts erläutert werden. Ein Subtrahierer DIA berechnet die Differenz zwischen einer voreingestellten Temperatur (Soll-Temperatur) TEMC des bearbeiteten Abschnitts, welche vorab von der Bedienungsperson eingestellt wurde, und der gemessenen Temperatur (Ist-Temperatur) TEMS des von dem Laser bestrahlten Abschnitts des Metallblech-Werkstücks 2, wie sie von dem Temperaturdetektor 8 gemessen wird. Der Subtrahierer liefert an den Laseroszillator 3 einen Laserleistungs-Befehl LC, der von einem Proportional-Integral-Verstärker (PI-Verstärker) PI verstärkt wurde. Der Laseroszillator 3 stellt die Intensität des Laserstrahls L1 auf der Grundlage des Laserleistungs-Befehls LC ein und bestrahlt den zu verformenden Abschnitt CP des Metallblechstücks 2 mit dem Laserstrahl L2, der von der Photo-Umsetzeinrichtung 4 abtastend bewegt wird. Die Temperatur TEMS des bestrahlten Abschnitts des Metallblechstücks wird von dem Temperaturdetektor 8 kontinuierlich gemessen, und die Laserleistung wird auf der Grundlage des oben erläuterten Verfahrens derart gesteuert, daß sie auf der voreingestellten Temperatur TEMC gehalten wird.

Fig. 30 ist ein Blockdiagramm eines zweiten Beispiels für die Laserleistungs-Steuerung. Anhand dieses Diagramms soll nun ein Steuerverfahren für die Laserleistung mittels Messung der Reaktionskraft beim Biegen des Metallblechstücks erläutert werden. Bevor der Laserstrahl aufgestrahlt wird, wird eine Anfangs-Biegereaktionskraft PSSM für das Metallblech-Werkstück 2 durch einen Reaktionskraftdetektor PS gemessen, welcher an die Werkstück-Fixiereinrichtung 11 angeschlossen ist, und der gemessene Wert wird in einem Speicher MY abgespeichert. Während eine Laserausgangsleistungs-Einstelleinrichtung CON den Betrieb auf der Grundlage der Verarbeitungsbedingungen SC, die von der Bedienungsperson eingestellt wurden, ändern kann, währenddessen eine Verformung des Metallblechs erfolgt, liest sie die Anfangs-Biegereaktionskraft PSSM aus dem Speicher MY aus und liefert an den Subtrahierer DIA "1/3" der anfänglichen Biegereaktionskraft PSSM, beispielsweise in Form eines Einstellwerts PC für eine Biegereaktionskraft. Der Subtrahierer DIA berechnet die Differenz zwischen dem Einstellwert PC für die Biegereaktionskraft und der Biegereaktionskraft PSS des Metallblech-Werkstücks 2, wie sie von dem Reaktionskraftdetektor PS gemessen wird, und er liefert an den Laseroszillator 3 einen Laserleistungs-Befehl LC, der von dem Proportional – Integral – (PI) – Verstärker PI verstärkt worden ist.

Der Laseroszillator 3 stellt die Stärke des Laserstrahls L1 auf der Grundlage des Laserleistungs-Befehls LC ein und bestrahlt den zu verformenden Abschnitt CD des Metallblechstücks 2 über die Wandereinrichtung 4 mit dem Laserstrahl L2, der abtastend bewegt

wird. Die Biegereaktionskraft PSS des Metallblechstücks 2 wird von dem Reaktionskraftdetektor PS kontinuierlich gemessen, und im vorliegenden Beispiel wird die Laserleistung nach dem Verfahren gesteuert, wie es oben beschrieben wurde, d. h., die Biegereaktionskraft des Metallblech-Werkstücks beträgt "1/3" der anfänglichen Reaktionskraft vor der Erwärmung. Es gibt auch ein weiteres Verfahren, bei dem die für die Zeit der Erwärmung abgeschätzte Reaktionskraft vorab auf der Grundlage der Information über die Form und das Material der Metallblechstücke berechnet wird und die Laserverleistung gesteuert wird, indem dieser berechnete Wert mit einer momentan gemessenen Reaktionskraft verglichen wird.

Als nächstes soll eine Metallblechverarbeitungs-Anlage beschrieben werden, die auf der Grundlage eines Verformungsprogramms für die Metallblechverarbeitung mittels Laserstrahl gemäß der Erfindung arbeitet. Zur Verformungsbearbeitung eines Metallblechstücks mittels Laser sind viele Informationen notwendig, z. B. Informationen bezüglich des Materials und der Dicke des Blechmaterials, der Länge und der Form des zu verformenden Abschnitts, und der Intensität und der Bestrahlungszeit des Laserstrahls. Aus dem Gesichtspunkt der Bearbeitungseffizienz ist es wirtschaftlich, die Relationen unter den genannten Faktoren in einer Steuereinheit für die Laserverarbeitung oder einer Formeinrichtung für ein Verformungs-Bearbeitungsprogramm vorab zu speichern und ein Bearbeitungsprogramm automatisch innerhalb der Einheit oder mit Hilfe einer Bedienungsperson zu erstellen, wobei die Bedienungsperson die genannte Information benutzt, so daß die Metallblechverarbeitung auf der Grundlage des Verformungs-Bearbeitungs-Programms erfolgt. Fig. 31 ist ein Blockdiagramm, welches ein Beispiel für eine Metallblechverarbeitungs-Anlage zeigt, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms gemäß der Erfindung arbeitet. Die Zeichnung zeigt den Fall einer Biegebearbeitung.

Von der von der Bedienungsperson eingegebenen Bearbeitungsinformation WI, beispielsweise der Information über das Material und die Dicke des Metallblechs und die Bearbeitungsform, werden Material und Dicke WI1 in einen Arbeitsinformationsspeicher 31 über eine Bearbeitungsinformations-Eingabeeinheit 30 abgespeichert. Die Bearbeitungsform WI2 wird in die Metallblechverarbeitungs-Steuereinheit 32 eingegeben. Die Relationen zwischen dem Material und der Dicke des Metallblechs, die Länge des zu verformenden Abschnitts und die Stärke sowie die Bestrahlungszeit des Laserstrahls werden vorab in dem Arbeitsinformationsspeicher 31 abgespeichert, der beispielsweise durch einen Halbleiterspeicher gebildet wird, während die aufzubringende Intensität LP des Laserstrahls bei der Abtastung des Metallblech-Werkstücks, die Bestrahlungszeit LT des Laserstrahls und die Bearbeitungsform WI2 von der Metallblechverarbeitungs-Steuereinheit 32 ausgelesen werden. Auf der Grundlage dieser Daten werden der Laserausgangsleistungs-Befehl LC für den Laseroszillator 33, der Abtastbefehl SC für die Abtastheit 34 und der Bearbeitungsbefehl WRC für die Metallblechverarbeitungsmaschine 35, die den Biegemechanismus enthält, gebildet. Die Metallblechverarbeitung erfolgt nach Maßgabe jedes dieser Befehle.

In einer derart aufgebauten Anlage kann die Bedienungsperson die Bearbeitung eines Metallblechteils einfach durch Eingabe der Information über das Material und die Dicke des Metallblechs und die Eingabe der

Bearbeitungsform erreichen, ohne daß sie sich um die Intensität und die Bestrahlungszeit des Laserstrahls kümmern muß. Während bei dem Beispiel nach Fig. 31 die Beschreibung lediglich den Fall des Biegens betrifft, kann die Metallblechverarbeitung auf der Grundlage eines Verformungs-Bearbeitungsprogramms ebenfalls ohne weiteres auch für das Schneiden, das Schweißen und Warmbehandlung durchgeführt werden, indem vorab Bearbeitungsinformation in ähnlicher Weise in dem Bearbeitungsinformationsspeicher 31 gespeichert werden.

Während die Verformung des Metallblechs mittels Laser in der oben beschriebenen Weise an sich eine äußerst wirksame Bearbeitungsmethode darstellt, ermöglicht die Schaffung dieser Methode die Realisierung einer Reihe von Bearbeitungen für Metallblechteile mit Hilfe einer einzigen Metallblechbearbeitungs-Vorrichtung, indem die Verfahren zur Metallblechverarbeitung wie beispielsweise Schweißen, Warmbehandlung, Schleifen des Metallblechs unter Verwendung des Lasers kombiniert werden. Man nehme an, daß die in Fig. 8 dargestellte Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung dazu verwendet wird, ein Metallblechstück zu der in Fig. 12 gezeigten kastenförmigen Form auszubilden. Zunächst wird ein Metallblechteil mit der in Fig. 11 gezeigten Form aus einem Blechmaterial ausgeschnitten, wozu der Schneidvorgang des Metallblechs mittels Laser erfolgt. Dann wird ein Liniensegment H3H1 mit einem Laserstrahl bestrahlt, während dieser sich mit hoher Geschwindigkeit bewegt, und wenn die Elastizitätsgrenze des von dem Laser bestrahlten Abschnitts mit angestiegener Temperatur verringert, wird auf den von dem Laser bestrahlten Abschnitt seitens des gelenkigen Roboters 9 eine Biegekraft aufgebracht, bis eine Biegung von 90° erreicht ist. In ähnlicher Weise erfolgt eine Biegung um 90° auch hinsichtlich der Liniensegmente H3H5, H5H6, H4H6, um die in Fig. 12 dargestellte Form zu erreichen.

Zum Schweißen werden die überlappenden Liniensegmente H1H3 und H9H3 mit dem Laserstrahl gestrahlt. In ähnlicher Weise erfolgt das Schweißen auch an den Liniensegmenten H2H4 und H11H4, H12H6 und H8H6, H7H5 und H10H5, um die kastenförmige Form gemäß Fig. 12 zu erreichen. Außerdem werden Unebenheiten der Schweißung von einem Schleifgerät abgeschliffen, welches von dem gelenkigen Roboter 9 gehalten wird. Das Vergüten mit Hilfe des Laserstrahls zur Verbesserung der Festigkeit des Kastens erfolgt in einem geeigneten Verarbeitungsschritt innerhalb der oben erläuterten Schritte. Man kann also mit einer einzelnen Metallblechverarbeitungs-Maschine verschiedene Metallblechverarbeitungen durchführen, wie z. B. das Schneiden, das Biegen und das Schweißen eines Metallblechteils, das Schleifen der Schweißung zur Endbehandlung, und das Vergüten.

Als nächstes soll anhand der Fig. 32 eine Bearbeitungsprozedur beschrieben werden, bei der das Schneiden, das Biegen, das Schweißen und die Warmbehandlung mit Hilfe einer einzigen Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung durchgeführt werden. Zunächst wird ein Bearbeitungsprogramm, welches eine verallgemeinerte Bearbeitungsprozedur darstellt, auf der Grundlage der Bearbeitungsform, des Materials und der Plattenstärke des Metallblechteils erstellt (Schritt S41). Dann wird das Metallblechmaterial mit Hilfe des Lasers geschnitten, um die Form vor dem Biegen zu erhalten (Schritt S42). Die Bedingungen für die Laserbestrahlung, beispielsweise die Abtastkontur des Laserstrahls, die Stärke des Laser-

strahls und die Bestrahlungszeit werden hinsichtlich eines durch die Biegebearbeitung zu biegenden Abschnitts für die im Schritt S41 bestimmte erste Biegesequenz von sämtlichen zu biegenden Abschnitten des Metallblechstücks festgelegt (Schritt S43). Der zu biegende Abschnitt wird von dem abtastenden Laserstrahl bestrahlt, um ihn auf einer für das Biegen geeigneten Temperatur zu halten (Schritt S44), und es wird auf den Biegeabschnitt eine Biegekraft aufgebracht, um die Biegearbeit bis zu einem gewissen Winkel durchzuführen (Schritt S45).

Wenn ein Schweißen in der Nähe des gebogenen Abschnitts erforderlich ist, so wird dann anschließend der Schweißvorgang nach Maßgabe der im Schritt S41 bestimmten Bearbeitungsprozedur durchgeführt (Schritte S46 und S47), und falls eine Warmbehandlung erforderlich ist, wird auch die Warmbehandlung durchgeführt (Schritte S48 und S49). Es wird festgestellt, ob sämtliche Bearbeitungen abgeschlossen sind (Schritt S50), und falls ein noch nicht bearbeiteter Abschnitt verbleibt, geht der Ablauf zum Schritt S43 zurück. Die Bearbeitung wird abgeschlossen, wenn sämtliche Arbeitsschritte fertig sind. Das Schweißen und die Warmbehandlung können auch kollektiv durchgeführt werden, nachdem sämtliche Biegevorgänge beendet sind.

Wie aus der obigen Beschreibung hervorgeht, können gemäß dem erfundungsgemäßen Metallblechbearbeitungsverfahren das Biegen und das Ziehen von Metallblechteilen, das üblicherweise viele Arten von Spezialformen erforderlich macht, ersetzt werden durch ein auf einem einfachen Grundprinzip basierendes Metallblechverarbeitungsverfahren. Die Metallblechverarbeitung schafft ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit, indem das Schneiden, das Schweißen, die Warmbehandlung und das Biegen mit Hilfe einer einzigen Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung durchgeführt werden können. Hierdurch lassen sich die Gesamtkosten herabsetzen und die Abmessungen der Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung verringern. Auch die Kosten der Metallblechverarbeitung selbst lassen sich verringern.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, umfassend die Schritte:

- ein zu verformender Metallblech-Abschnitt wird mittels Laserstrahl bestrahlt, welcher mit hoher Geschwindigkeit den zu verformenden Abschnitt abtastet, um ihn zu erwärmen; und
- auf den zu verformenden Abschnitt wird eine Kraft aufgebracht, um das Metallblech zu verarbeiten.

2. Laserbearbeitungsvorrichtung, umfassend:

- einen Laseroszillator (3);
- eine Laserstrahlleiteinheit (4) zum Leiten eines von dem Laseroszillator (3) ausgehenden Laserstrahls (L1), um diesen nach Bedarf mittels z. B. einer Linse (20, 21) zu konvergieren;
- eine Abtasteinrichtung (23) zum abtastenden Bewegen des Laserstrahls mit hoher Geschwindigkeit entlang einer Geraden oder einer wählbaren Kontur;
- eine Verformungseinrichtung (9, 10) zum Aufbringen einer Kraft auf ein Metallblech-Werkstück (2), um dieses mit dem Laserstrahl durch Abtastung bei hoher Geschwindigkeit bestrahlte Werkstück zu verformen; und
- eine Steuereinrichtung (5) zum Steuern der

vorgenannten Einrichtungen nach Maßgabe verschiedener für das Metallblech vorab eingestellter Bearbeitungsbedingungen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der die Verformungseinrichtung aufweist: einen Tisch (1) zum Haltern des Metallblechstücks (2), Werkstück-Fixiereinrichtungen (10, 11) zum Greifen von Enden des Metallblechstücks (2), und einen gelenkigen Roboter (9) zum Bewegen der Werkstück-Fixiereinrichtungen (10, 11).

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der der Tisch von der Steuer (5) in X- und in Y-Richtung bewegt wird.

5. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, bei dem ein Laserstrahl mit hoher Geschwindigkeit auf eine wahlweise gerade Linie auf einem ebenen Metallblechstück (2) bewegt wird, um den Abschnitt entlang der gestreckten Linie zu erwärmen, und eine Biegekraft auf die gerade Linie aufgebracht wird, um die Biegung des Metallblechstücks (2) durchzuführen, wenn der Abschnitt entlang der geraden Linie eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat, und das Biegen sequentiell an geraden Linien durchgeführt wird, die im wesentlichen parallel zueinander mit vorbestimmtem Abstand innerhalb der zu verformenden Abschnitte auf dem Metallblechstück liegen, wodurch das Metallblechstück (2) eine gekrümmte Oberfläche mit einem Querschnitt erhält, der im wesentlichen kontinuierlich und glatt ist.

6. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, umfassend die Schritte:

Bilden einer geradlinigen Nut mit Hilfe eines Laserstrahls auf einer oder auf beiden Seiten des zu verformenden Abschnitts eines ebenen Metallblechstücks, und anschließendes Aufbringen einer Biegekraft bezüglich der Nut, um das Metallblechstück zu biegen.

7. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, umfassend die Schritte:

— Aufstrahlen eines mit hoher Geschwindigkeit bewegten Laserstrahls auf eine wahlweise geschlossene Linie, beispielsweise einen Kreis oder ein Polygon, auf einer Metallblechebene, um den Abschnitt entlang der geschlossenen Linie zu erwärmen; und

— Aufbringen einer Kraft auf den Metallblech-Abschnitt, der von der geschlossenen Linie umgeben ist, in der Richtung einer gewünschten Verformung, um die Form des Metallblechstücks zu einer konvexen Form zu ziehen, wenn die Temperatur der geschlossenen Linie auf eine vorbestimmte Temperatur angestiegen ist.

8. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, bei dem ein mit hoher Abtastgeschwindigkeit bewegter Laserstrahl auf eine wahlweise geschlossene Linie, beispielsweise einen Kreis oder ein Polygon, in einer Metallblechebene aufgestrahlt wird, um den Abschnitt entlang der geschlossenen Linie zu erwärmen, und auf einen Metallblechabschnitt, der von der geschlossenen Linie umgeben ist, eine Kraft in der Richtung einer gewünschten Verformung aufgebracht wird, um die Form des Metallblechs zu einer konvexen Form zu ziehen, wenn die Temperatur der geschlossenen Linie auf eine vorbestimmte Temperatur angestiegen ist; wobei dieses Metallblechbearbeitungsverfahren sequentiell

an mehreren geschlossenen Linien durchgeführt wird, welche in vorbestimmten Intervallen innerhalb des zu einer konvexen Form auszubildenden Abschnitts der Metallblechebene vorgesehen sind, wobei von einer geschlossenen Linie im Zentrum zu den äußeren geschlossenen Linien fortgeschritten wird, so daß die Form des Metallblechs zu einer konvexen Ausbildung mit einer gekrümmten Oberfläche gezogen wird, die im wesentlichen kontinuierlich und glatt ist.

9. Verfahren zur Metallblechverarbeitung zur Warmbehandlung eines Metallblechteils mittels Laserstrahl, bei dem die Warmbehandlung folgendermaßen erfolgt:

- es wird von einem Verfahren Gebrauch gemacht, bei dem ein Laserstrahl mit einem vorbestimmten Strahldurchmesser mit einer solchen Geschwindigkeit auf den zu bestrahlenden Abschnitt des Metallblechteils aufgestrahlt wird, daß der Abschnitt eine vorbestimmte Temperatur erreicht;
- einer Warmbehandlung zu unterziehende Abschnitte des Metallblechteils werden nacheinander erwärmt;
- es wird ein Verfahren verwendet, bei dem der einer Warmbehandlung zu unterziehende Abschnitt des Metallblechteils durch Aufstrahlen eines abtastenden Laserstrahls solange erwärmt wird, bis die Temperatur des bestrahlten Abschnitts des Metallblechteils auf eine vorbestimmte Temperatur angehoben ist;
- oder es wird von einem Verfahren Gebrauch gemacht, bei dem der Bearbeitungsvorgang des Metallblechteils aus mehreren Prozessen besteht, wobei Prozesse für solche zu verformenden Abschnitte, die um einen geringen Abstand voneinander getrennt sind, ausgewählt werden, um nicht eine gegenseitige thermische Beeinflussung zwischen den Prozessen zu verursachen, oder wobei die aus dem einen Prozeß resultierende Wärme durch Kühlung vor dem durchführen des nächsten Prozesses bis zu einem Ausmaß beseitigt wird, daß dort keine thermische Störung verursacht wird.

10. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, umfassend die Schritte:

- Vergleichen eines eingestellten Werts, der dadurch erhalten wird, daß ein Meßwert einer ursprünglichen Biegereaktionskraft eines Metallblechteils vor der Erwärmung um einen vorbestimmten Anteil verringert wird, oder eines eingestellten Werts der Reaktionskraft des erwärmten Metallblechteils, abgeschätzt aus der Form und dem Material des Metallblech- teils, bei dem die Verformung des Metallblech- teils möglich ist, mit einem Meßwert der Reaktionskraft des Metallblechteils, der gemessen wird, wenn das Teil mit einem Laserstrahl wird;
- Steuern der Intensität des Laserstrahls zur Erzielung einer geeigneten Intensität auf der Grundlage des Vergleichsergebnisses; und
- Durchführen einer Verformungsbearbeitung des Metallblechteils, indem auf der Grundlage des Vergleichsergebnisses festgestellt wird, ob eine Verformung des Metallblechteils möglich ist.

11. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, umfassend die Schritte:

- in einer Laserbearbeitungs-Steuereinheit oder in einer Einheit zur Bildung eines Verformungs-Arbeitsprogramms werden die Relationen zwischen Material, Dicke eines Metallblechteils, der Länge, der Gestalt des zu verformenden Abschnitts und der Intensität und der Bestrahlungszeit eines Laserstrahls abgespeichert;
- das Verformungs-Arbeitsprogramm wird aus diesen gespeicherten Informationen erstellt; und
- auf der Grundlage des Arbeitsprogramms erfolgt die Metallblechverarbeitung.

12. Verfahren zur Metallblechverarbeitung, bei dem von Bearbeitungsvorgängen wie Schneiden eines Metallblechteils, Schweißen des Metallblechteils, Schleifen des Metallblechteils und Biegen des Metallblechteils zwei oder mehrere Bearbeitungen einschließlich Biegens des Metallblechteils in einer einzigen Metallblechverarbeitungs-Vorrichtung durchgeführt werden.

Hierzu 21 Seite(n) Zeichnungen

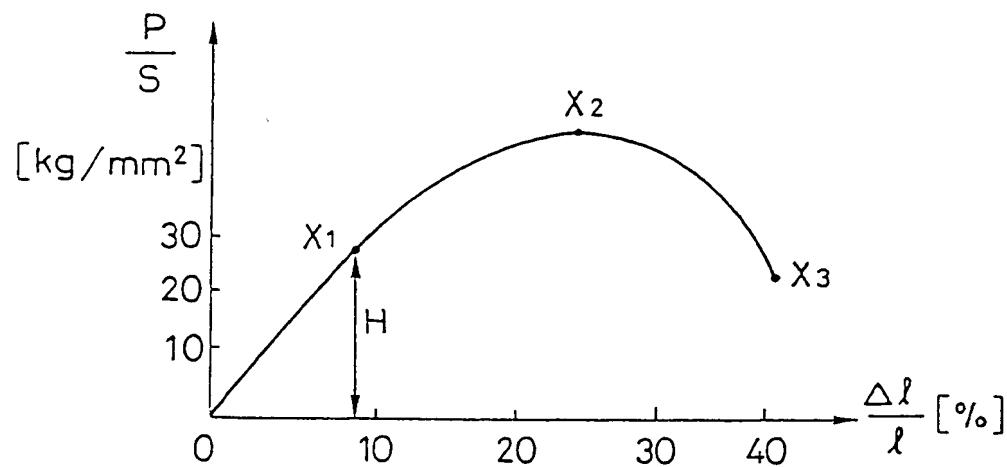


FIG. 1

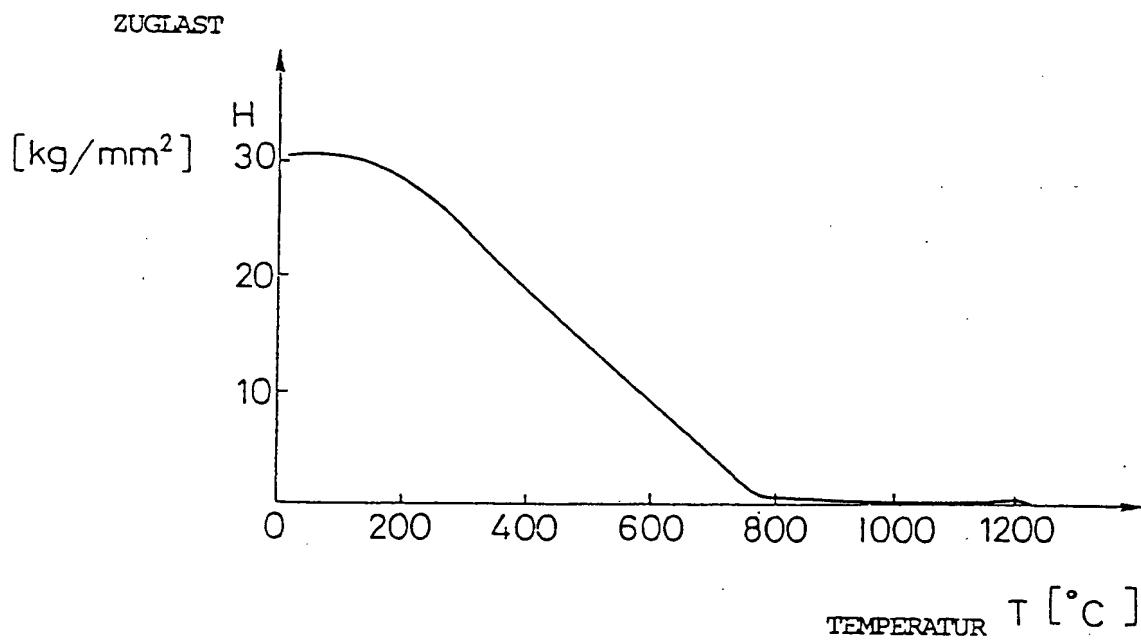


FIG. 2

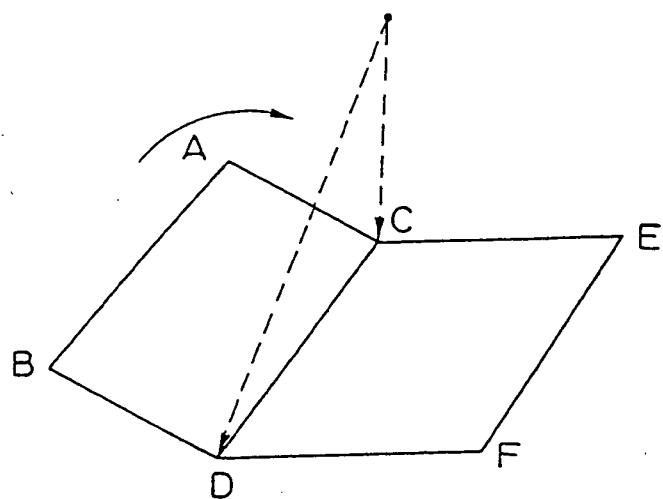


FIG. 3

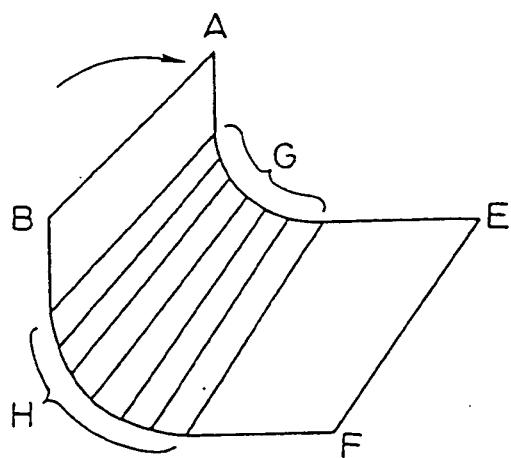


FIG. 4

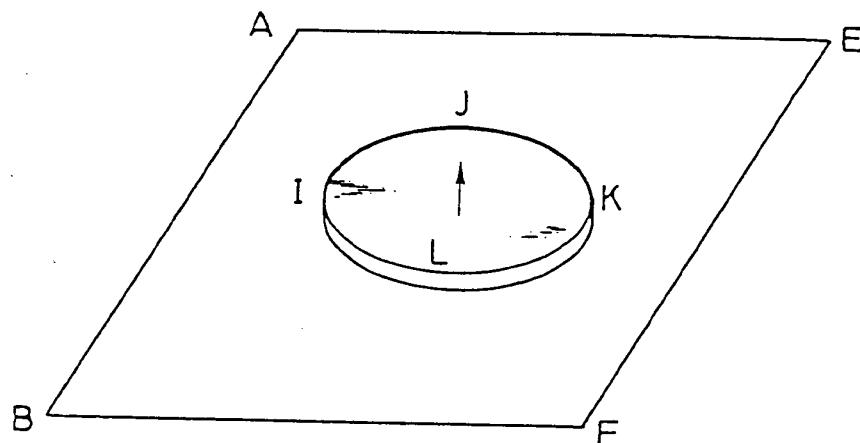


FIG. 5

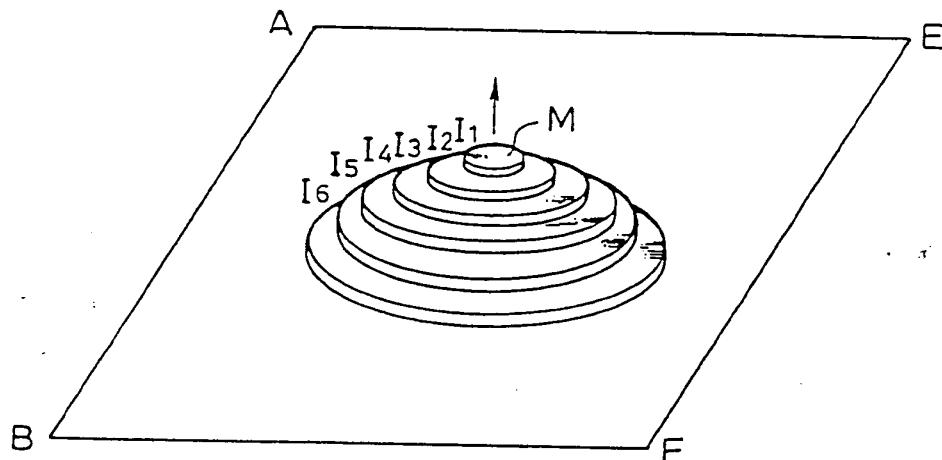


FIG. 6

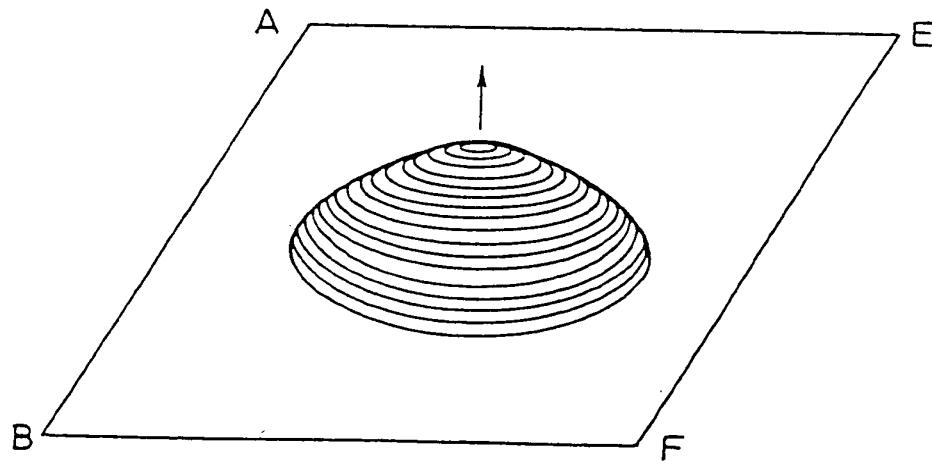


FIG. 7

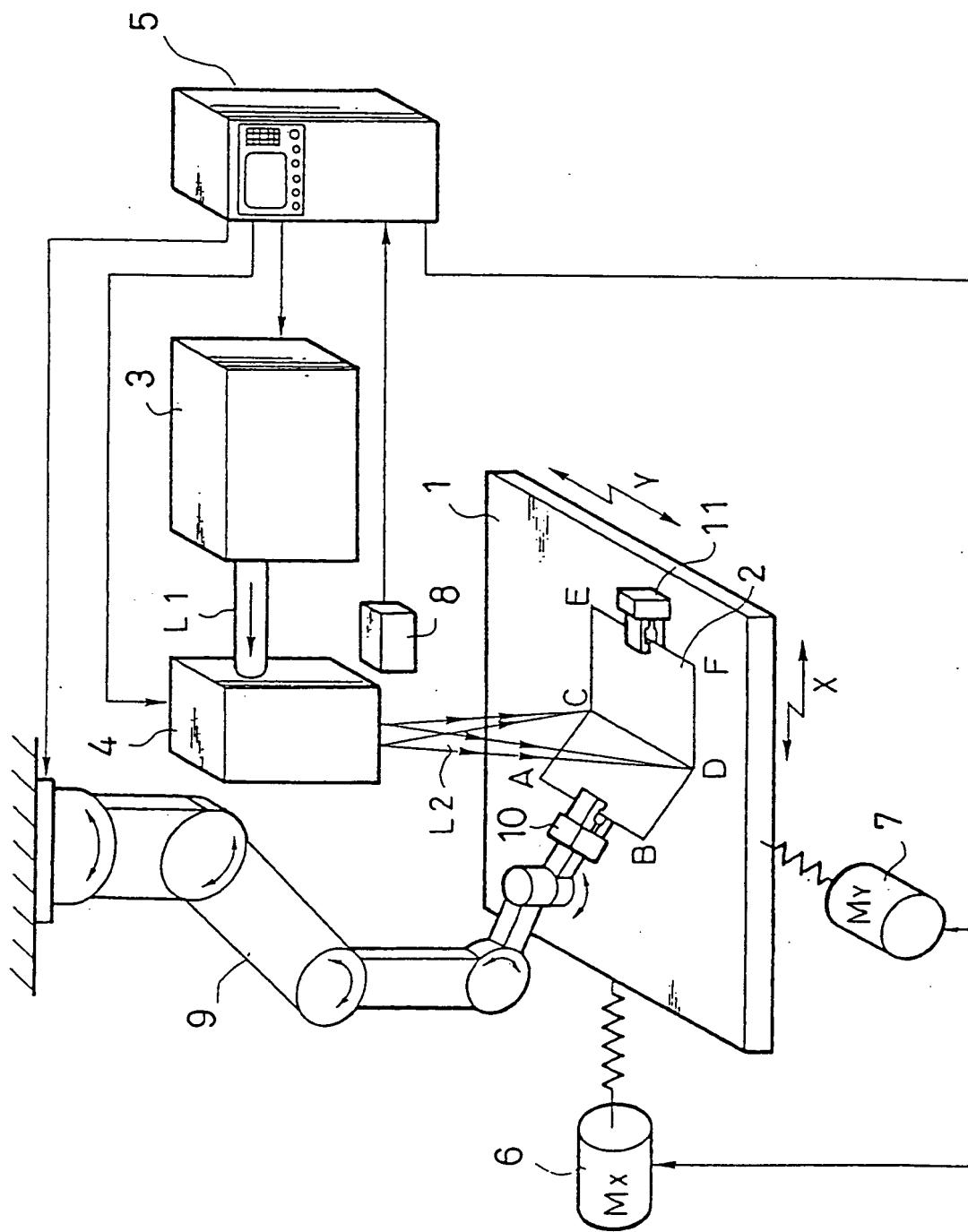


FIG. 8

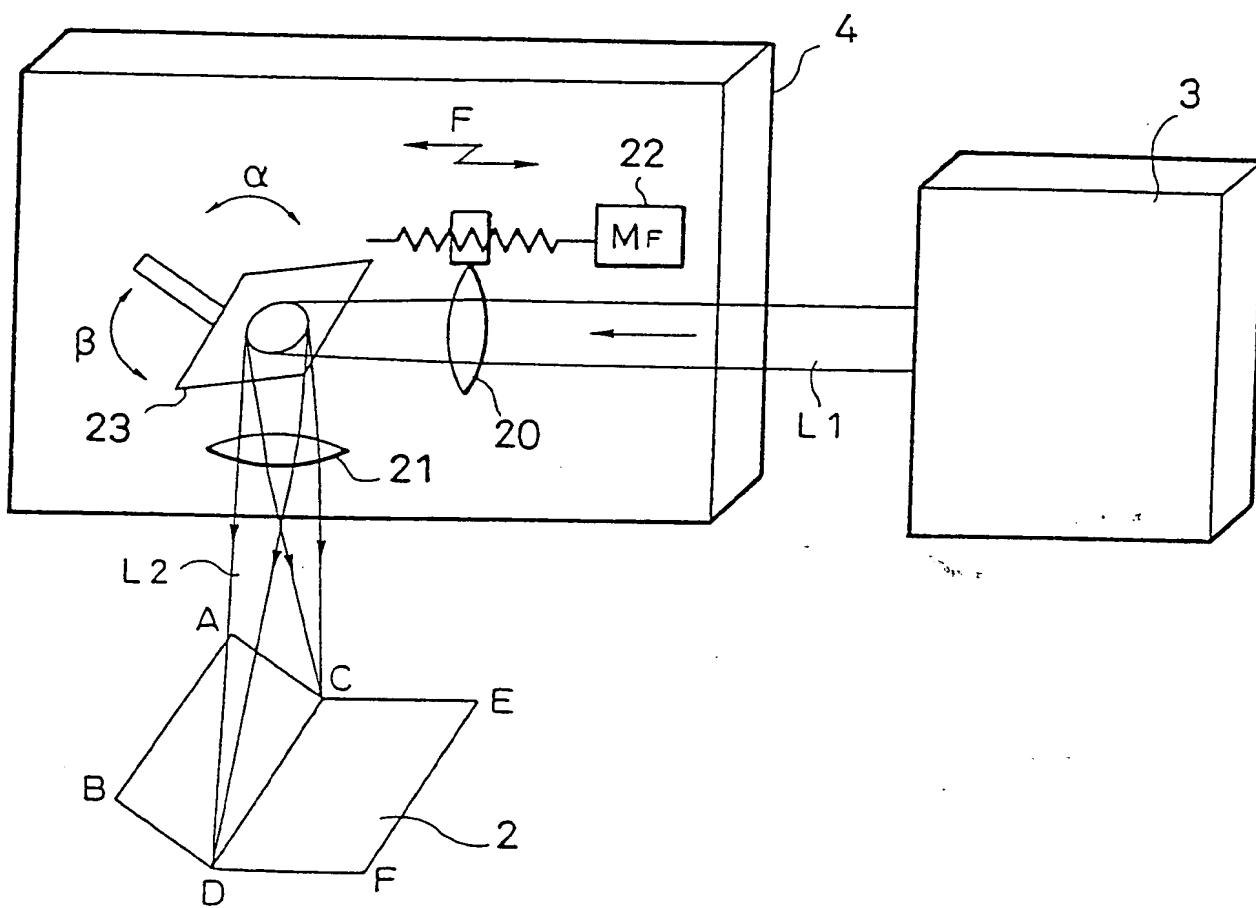


FIG. 9

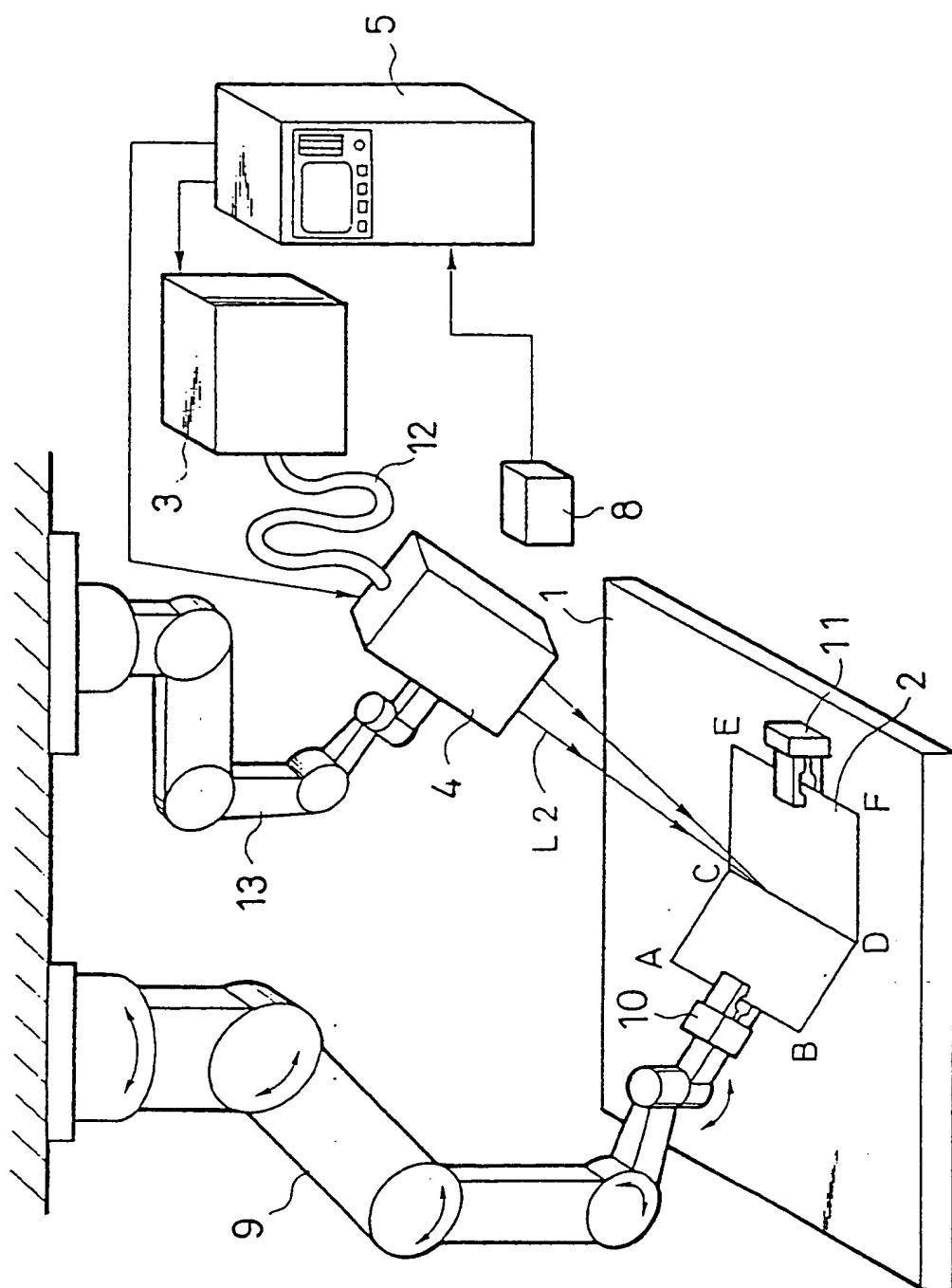


FIG. 10

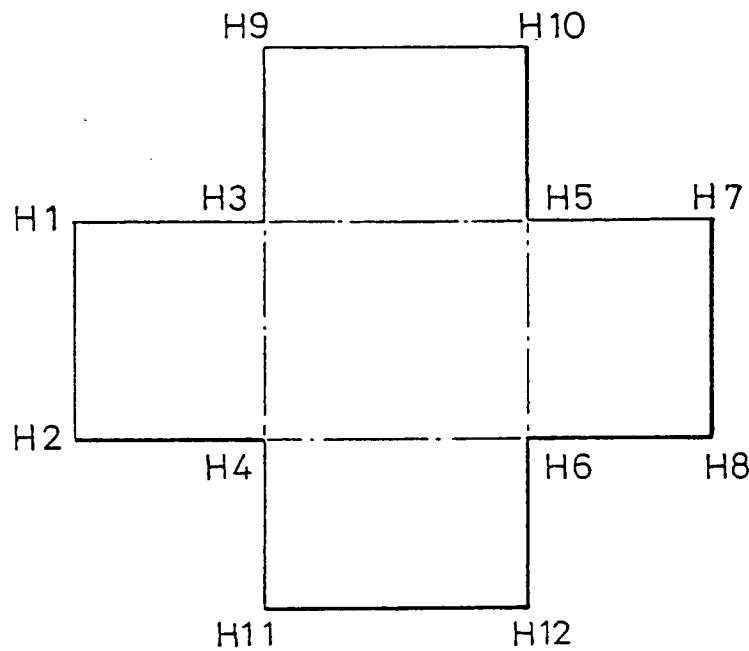


FIG. 11

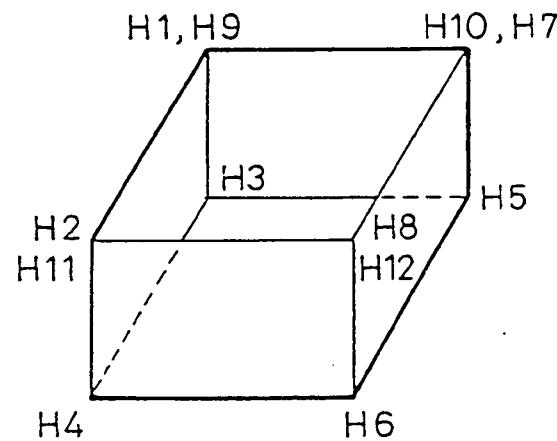


FIG. 12

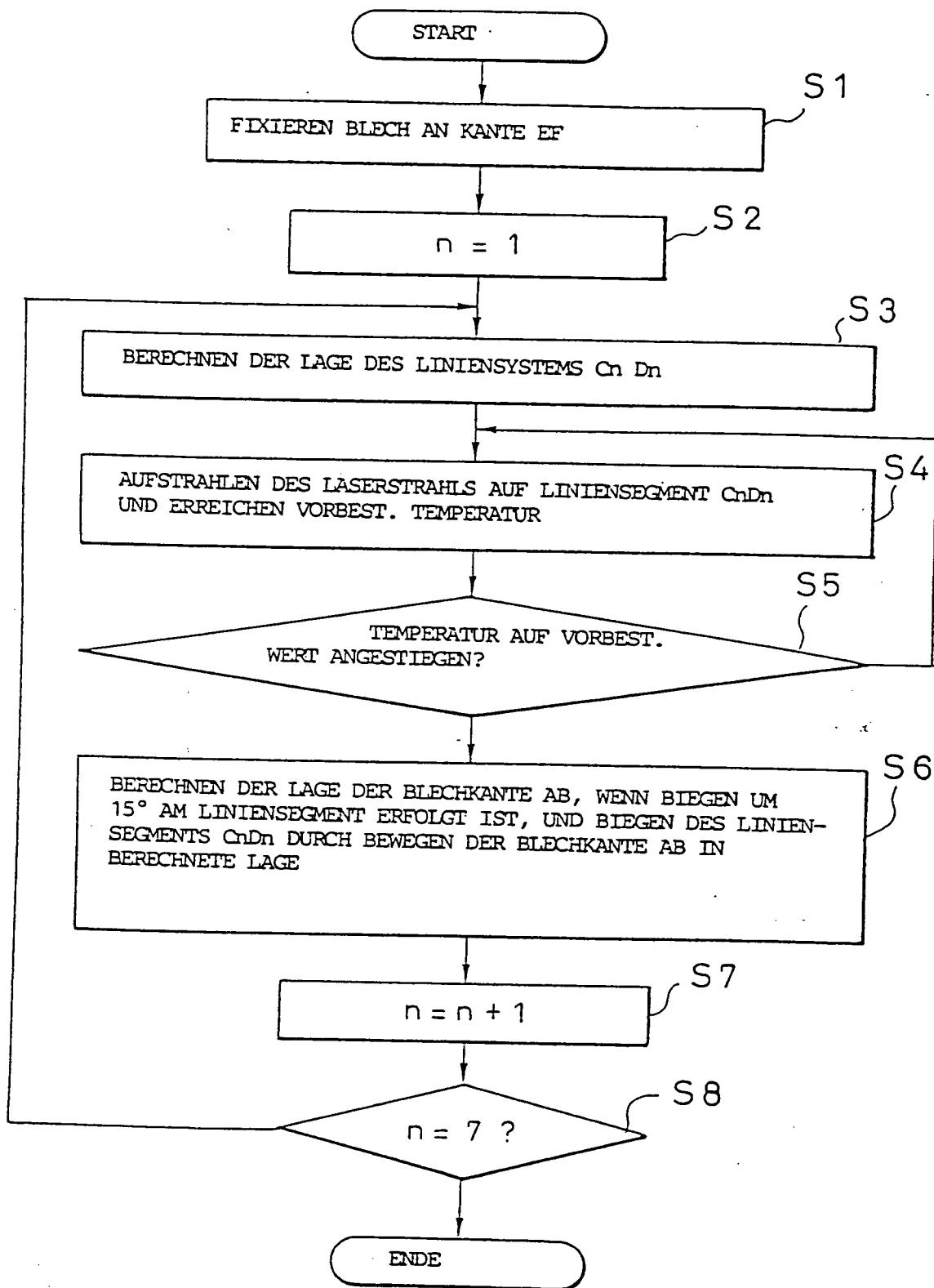


FIG. 13

208 069/695

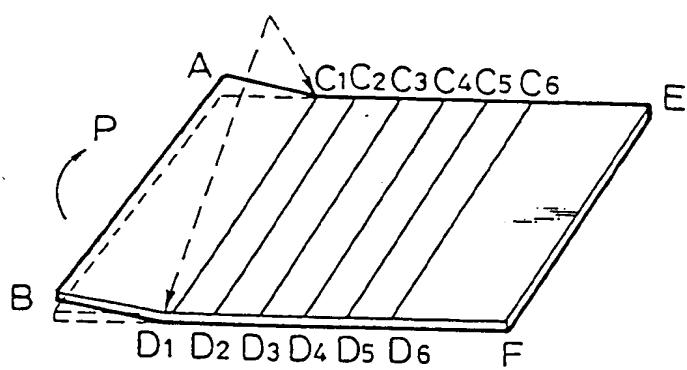


FIG. 14

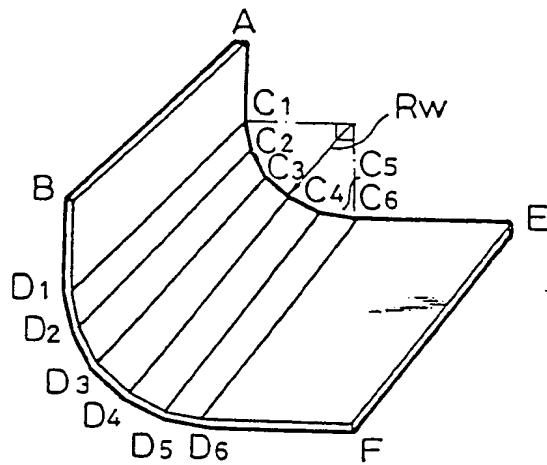


FIG. 15

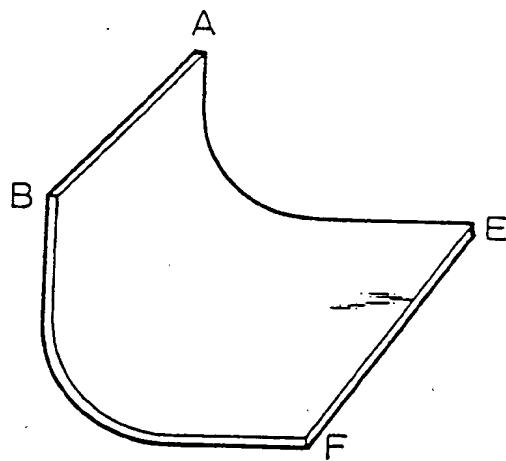


FIG. 16

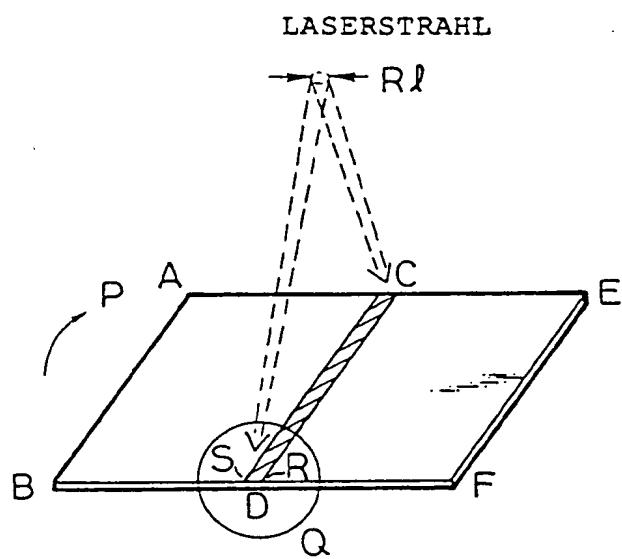


FIG. 17

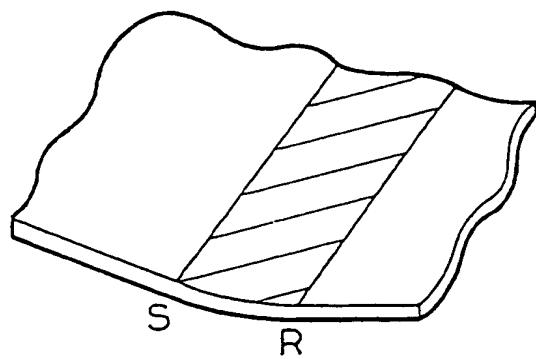


FIG. 18

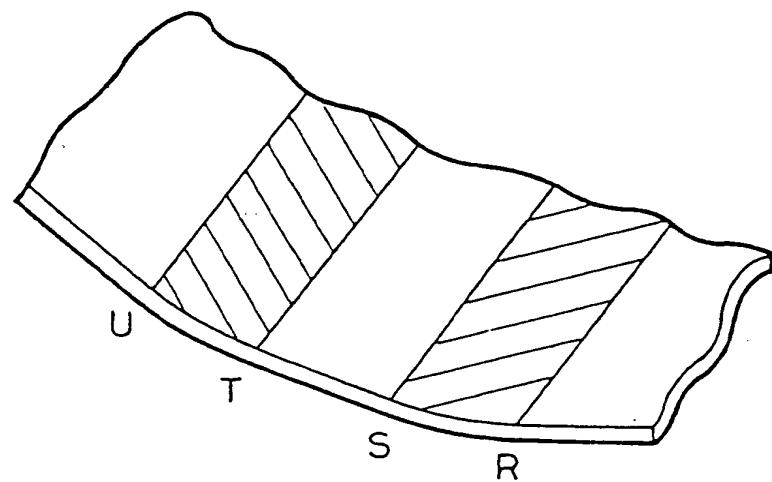


FIG. 19

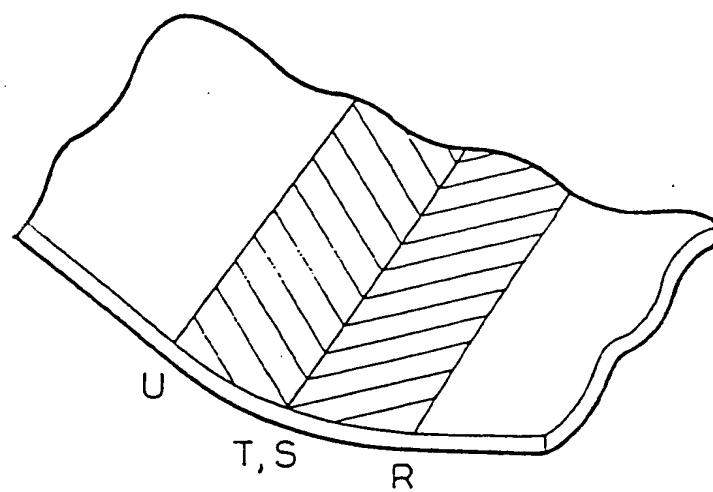


FIG. 20

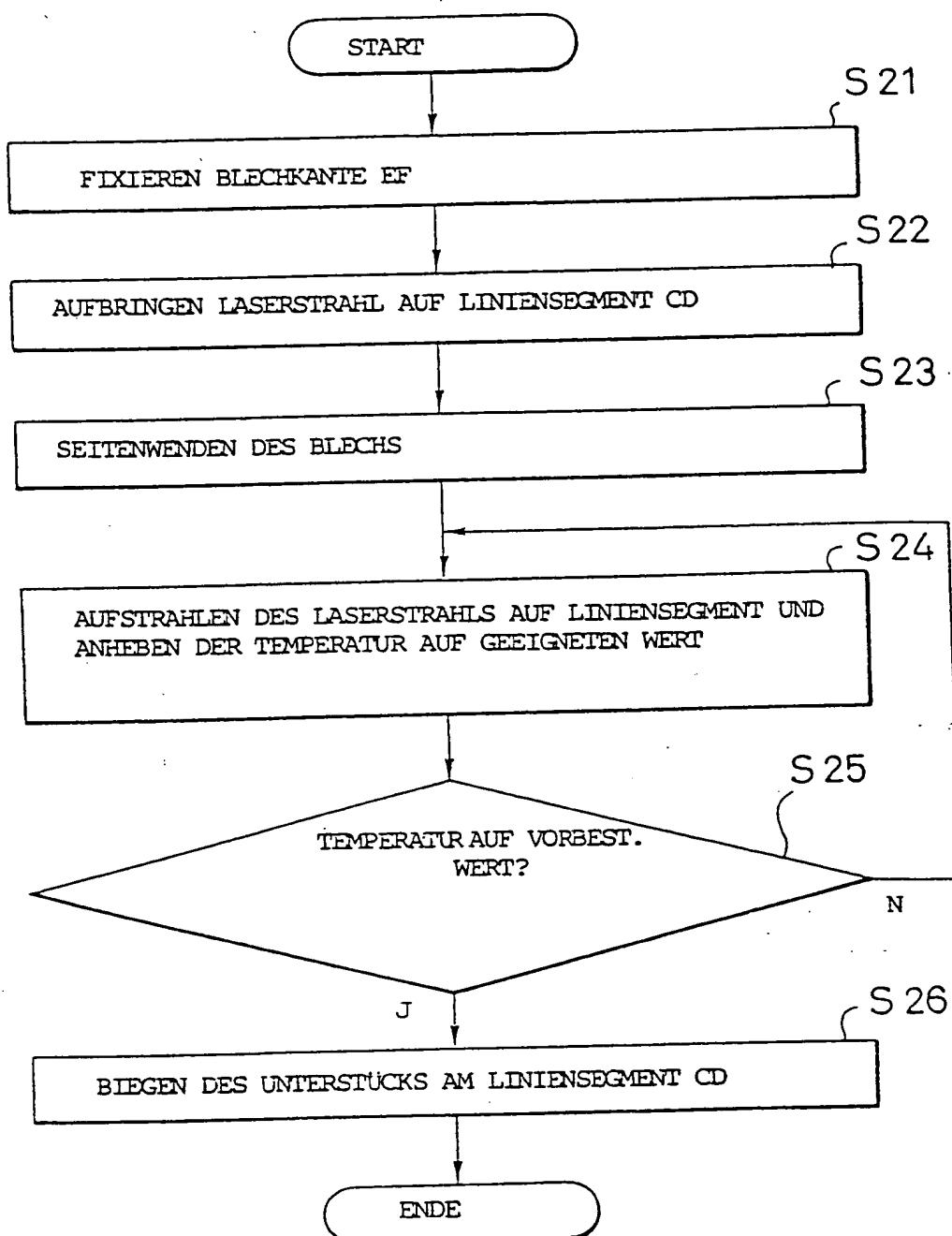


FIG. 21

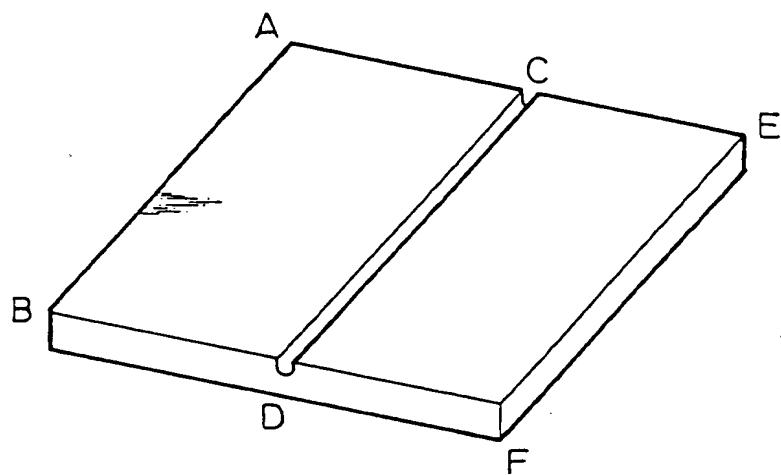


FIG. 22

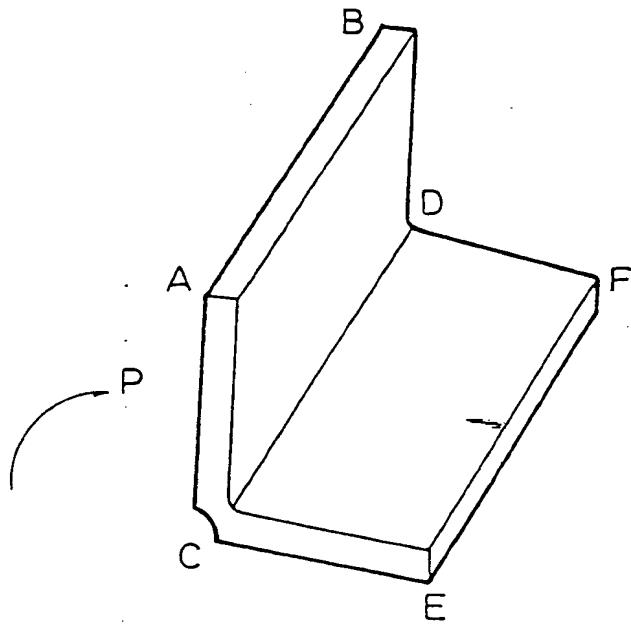
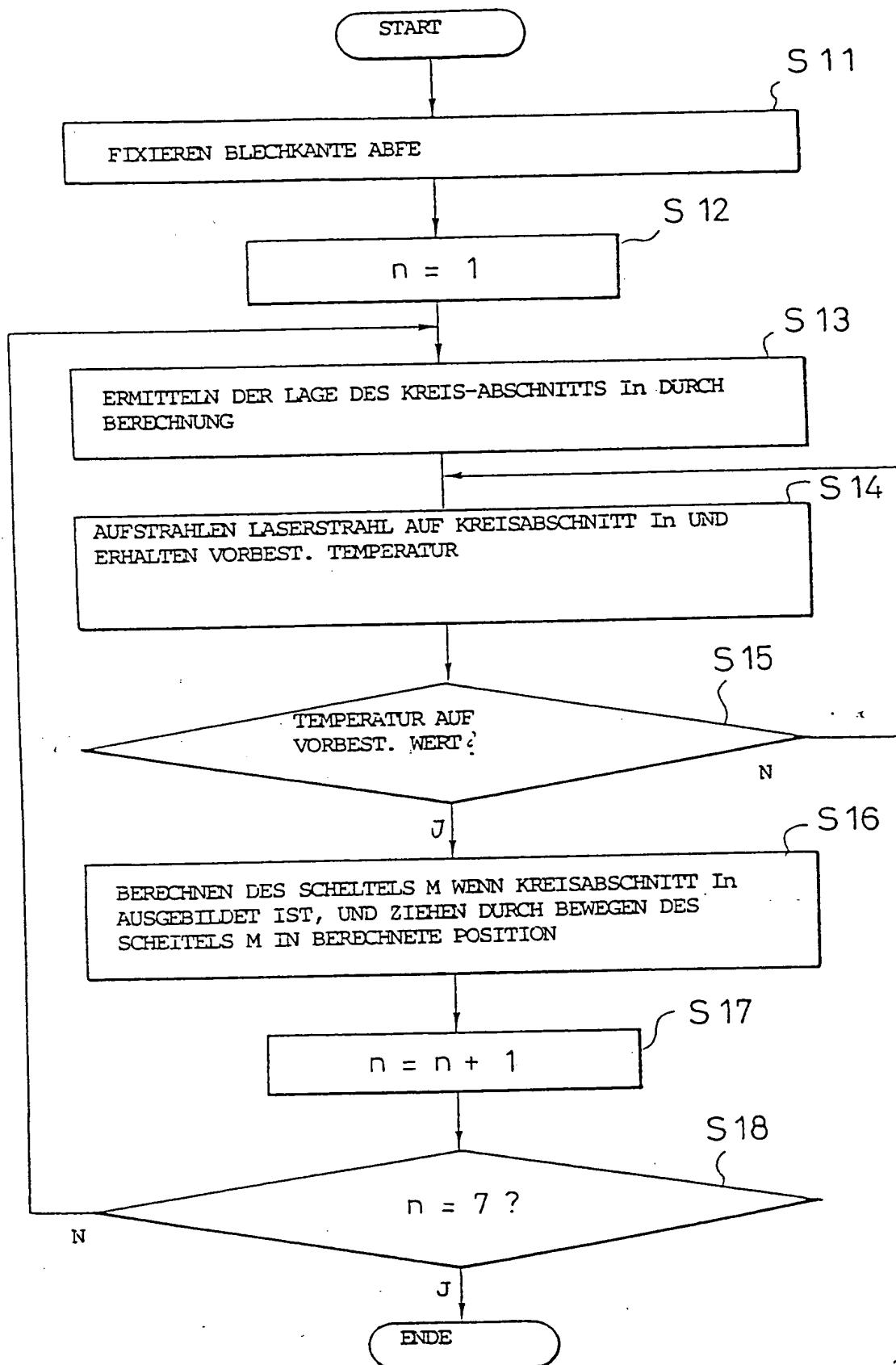


FIG. 23



208 069/695

FIG. 24

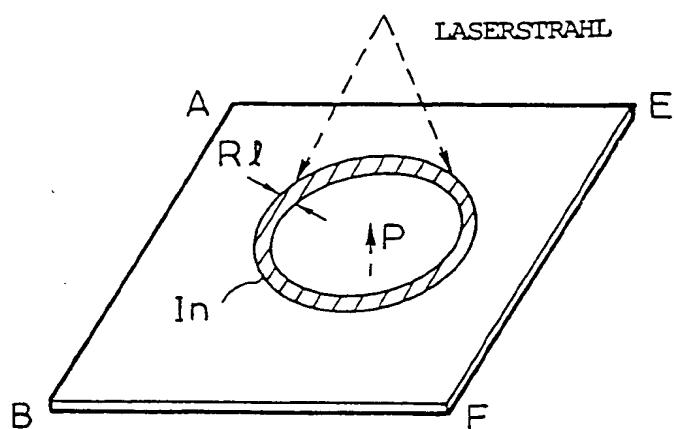


FIG. 25A

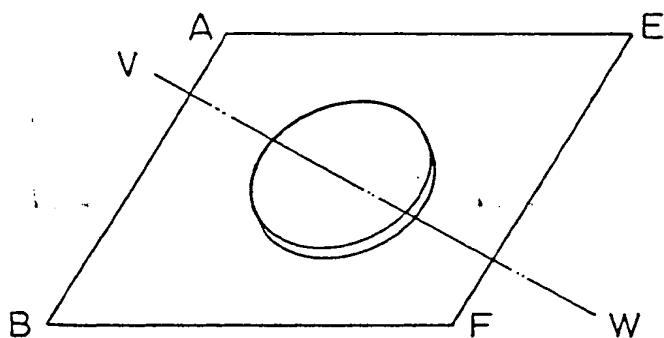


FIG. 25B

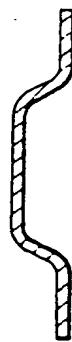


FIG. 25C

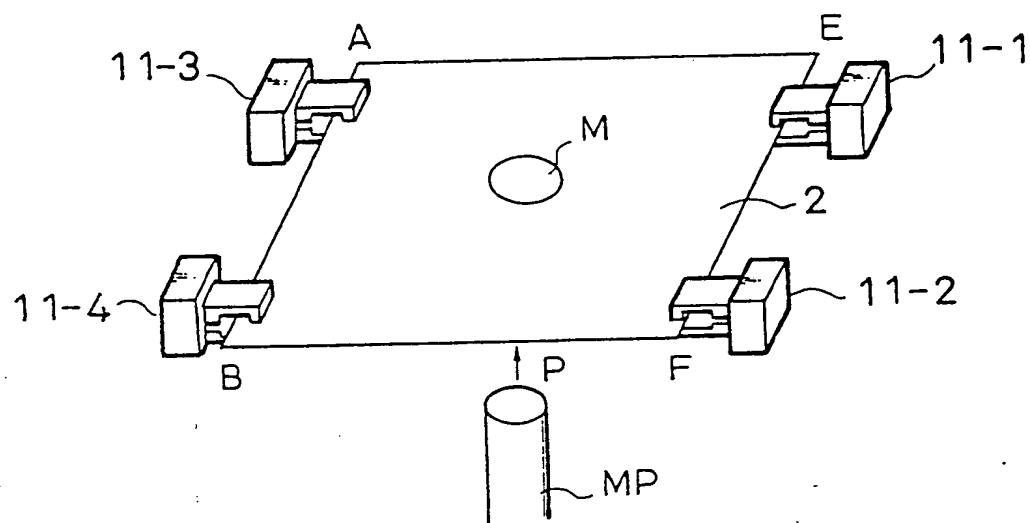


FIG. 26

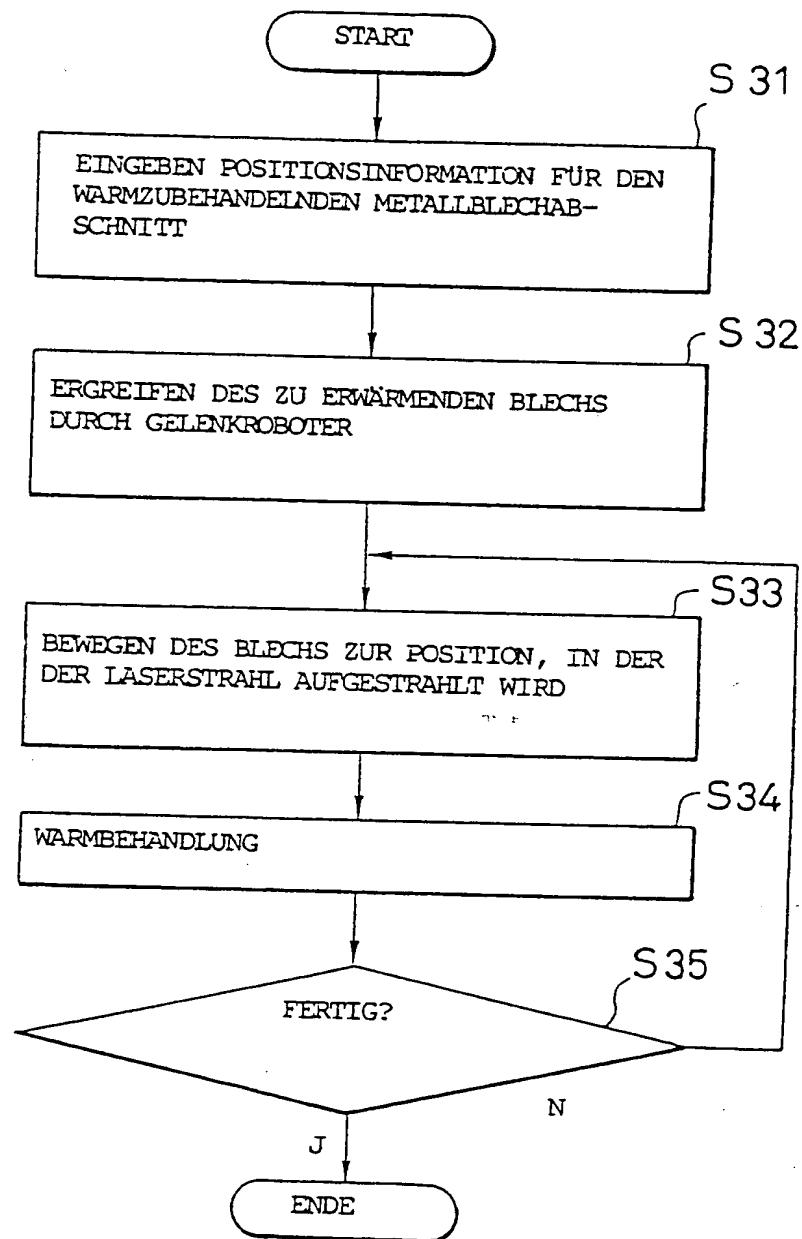


FIG. 27

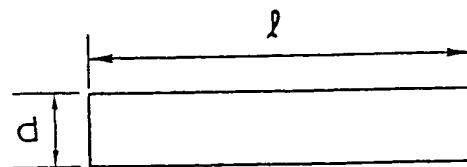


FIG. 28A

LASERSTRahl

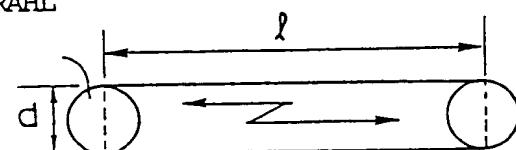


FIG. 28B

LASERSTRahl

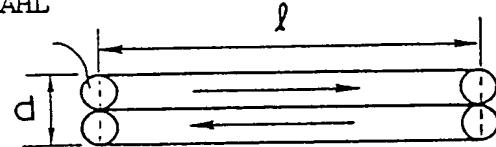


FIG. 28C

LASERSTRahl



FIG. 28D

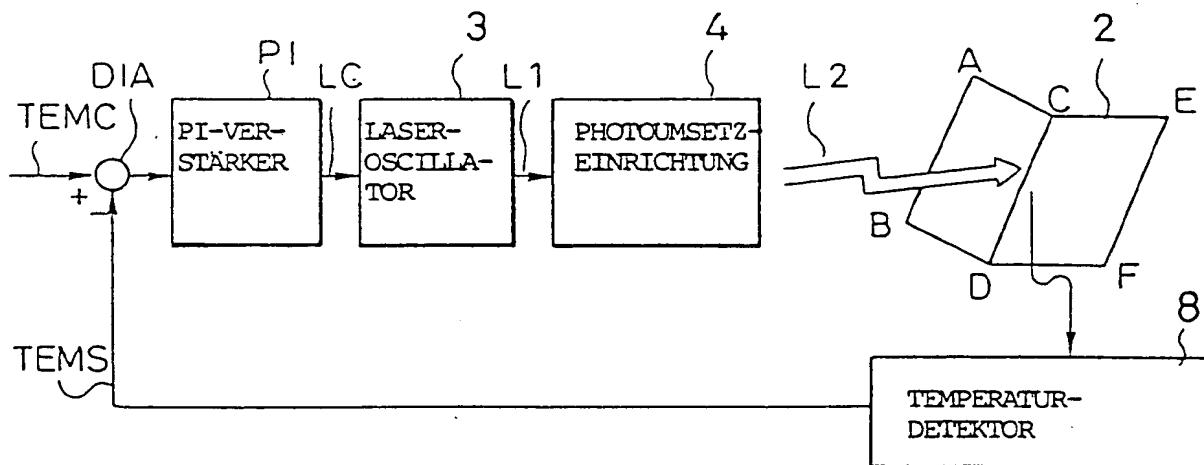


FIG. 29

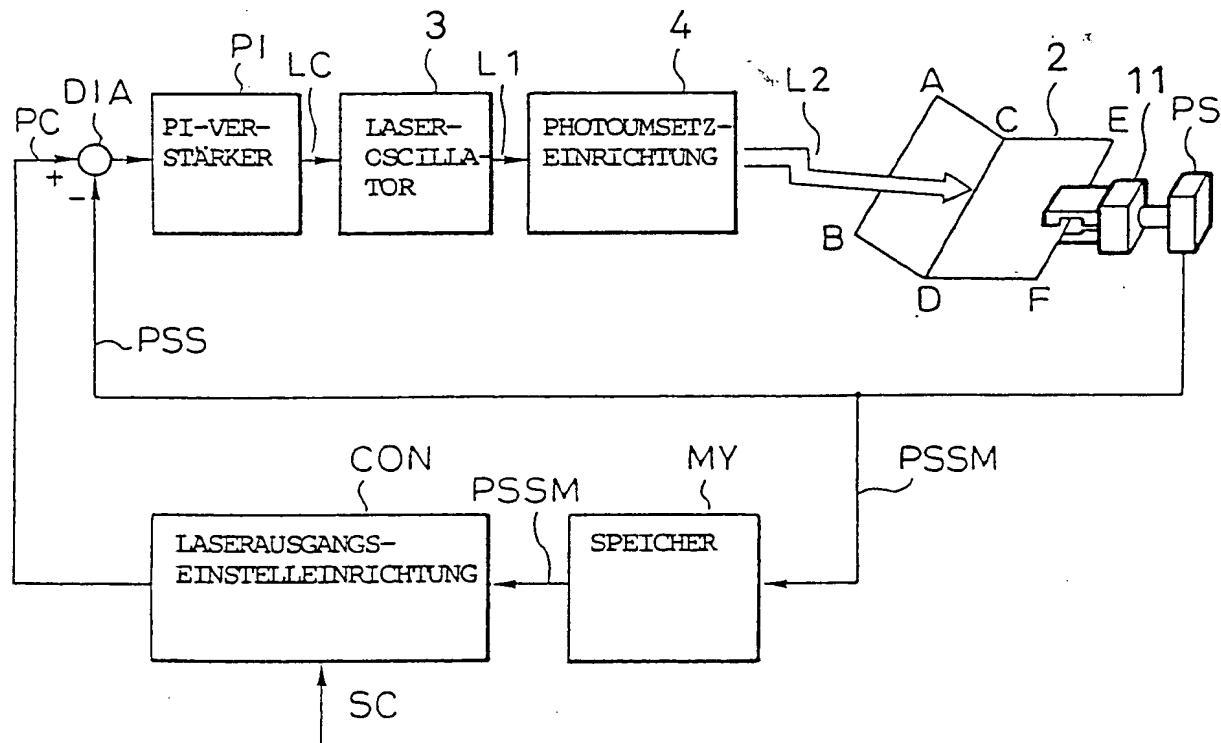


FIG. 30

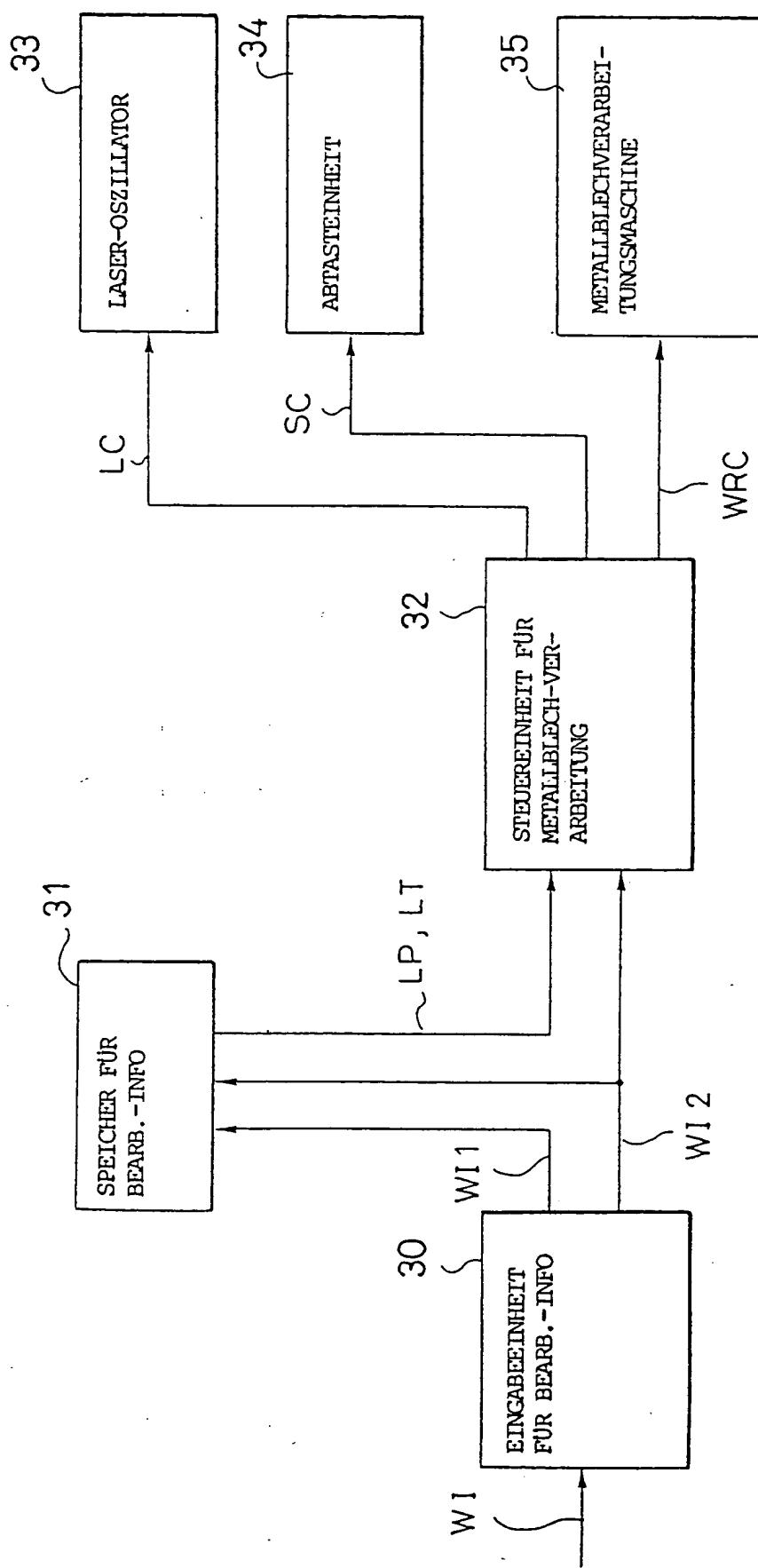


FIG. 31

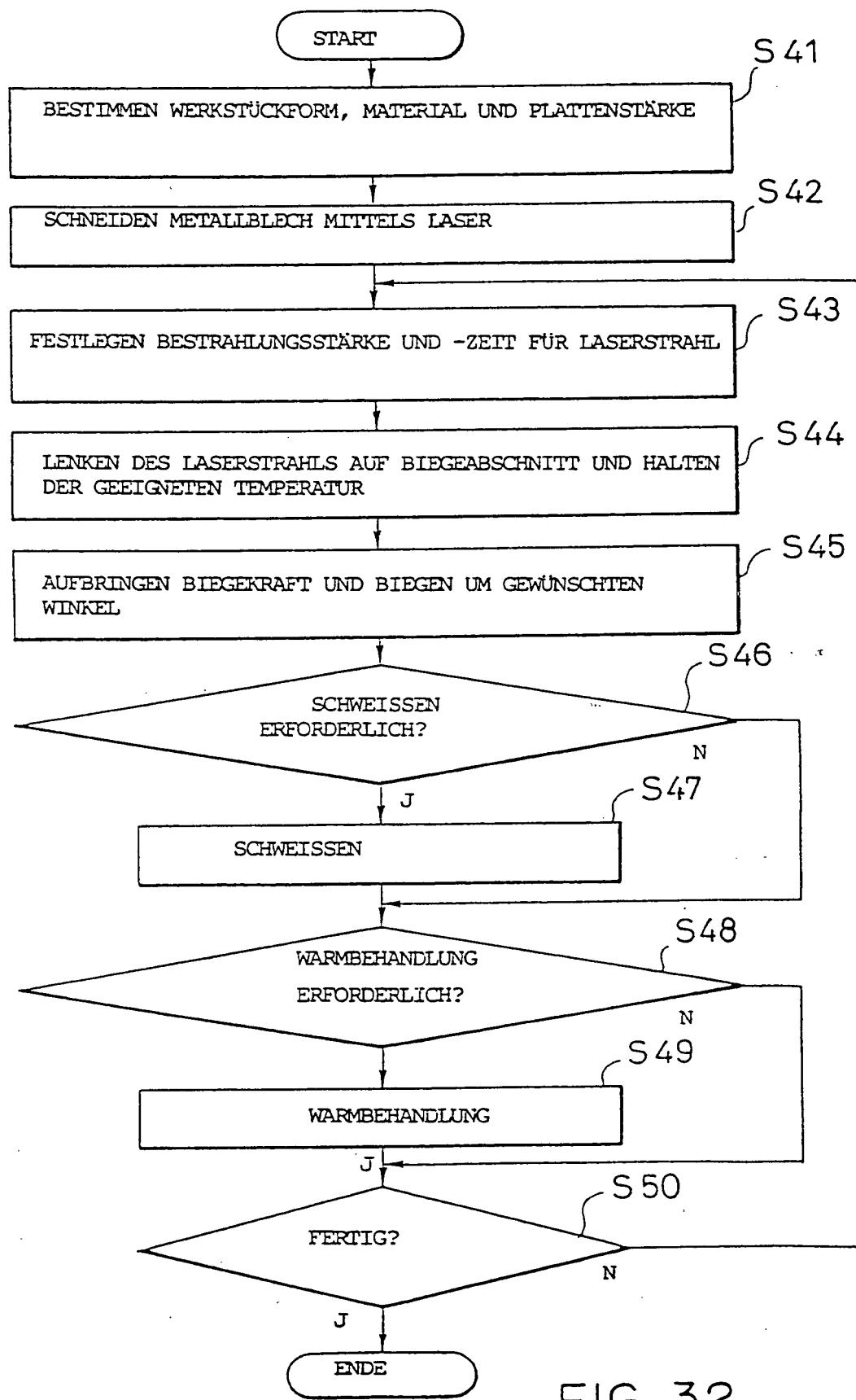


FIG. 32

